博弈与信息

博弈论概论（第四版）

Games and Information
An Introduction to Game Theory

Fourth Edition

[美]艾里克·拉斯穆森（Eric Rasmusen） 著

中国人民大学出版社

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

著作权合同登记号
图字：01-2007-4622号

拉斯穆森的《博弈与信息》很好地覆盖了博弈论与信息经济学的基本问题。他表述理论结构的一致风格，使得该书有着广泛的应用。希望我的所有学生能够选修这门课程并使用该教材，我真羡慕他们有这样的机会。

马克斯韦尔·B·斯廷奇克姆
得克萨斯大学奥斯汀分校

这是一本好书，它结合了近期经济理论研究的两部分文献：博弈论和不对称信息经济学。此书风格活泼，论证严谨，难度恰到好处。

帕尔塔·达斯古普塔
剑桥大学

ISBN 978-7-300-10926-8

9 787300 109268 >

定价：68.00元

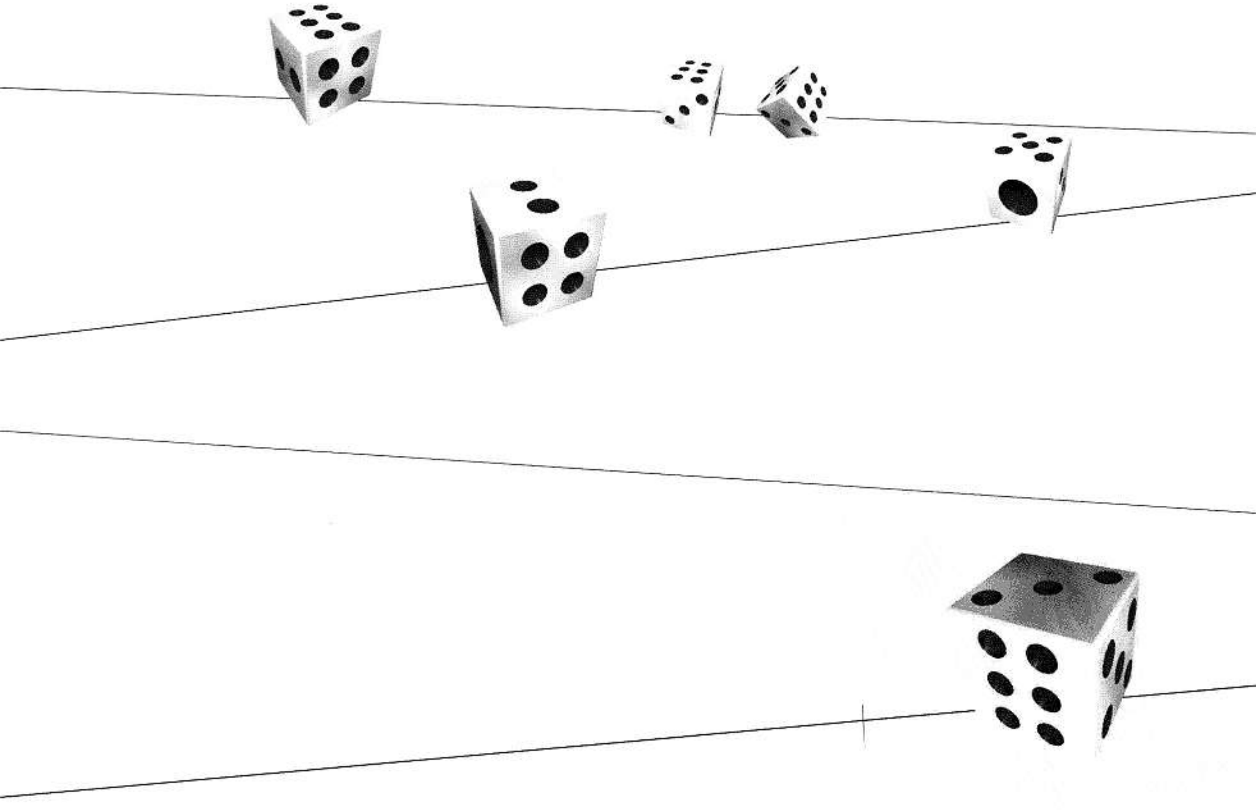
ISBN 978-7-300-10926-8/F · 3828

博弈与信息

博弈论概论（第四版）

Games and Information
An Introduction to Game Theory
Fourth Edition

[美]艾里克 · 拉斯穆森 （Eric Rasmusen） 著
韩松 校 韩松 张倩伟 庞立永 张中元 李长卿 译



中国人民大学出版社
· 北京 ·

图书在版编目（CIP）数据

博弈与信息：博弈论概论（第四版）/（美）拉斯穆森著；韩松等译.
北京：中国人民大学出版社，2009
ISBN 978-7-300-10926-8

Ⅰ. 博…
Ⅱ. ①拉…②韩…
Ⅲ. ①对策论—应用—经济②信息经济学
Ⅳ. F224.32　F062.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 163050 号

博弈与信息：博弈论概论（第四版）
[美] 艾里克·拉斯穆森　著
韩　松　校
韩　松　张倩伟　庞立永　张中元　李长卿　译

出版发行	中国人民大学出版社		
社　　址	北京中关村大街 31 号	邮政编码	100080
电　　话	010－62511242（总编室）		010－62511398（质管部）
	010－82501766（邮购部）		010－62514148（门市部）
	010－62515195（发行公司）		010－62515275（盗版举报）
网　　址	http://www.crup.com.cn		
	http://www.ttrnet.com(人大教研网)		
经　　销	新华书店		
印　　刷	北京新丰印刷厂		
规　　格	170 mm×240 mm　16 开本	版　　次	2009 年 9 月第 1 版
印　　张	42.25 插页 2	印　　次	2009 年 9 月第 1 次印刷
字　　数	742 000	定　　价	68.00 元

版权所有　侵权必究　　印装差错　负责调换

前　言

内容与目的

本书论及的对象是非合作博弈理论（noncooperative game theory）以及不对称信息（asymmetric information）。在引言中，我将说明为何我认为这些内容是重要的。如果你对这些内容感兴趣的话，我将在前言中尽力帮助你判断本书是否适合你阅读。

我是以一个应用理论经济学家，而非博弈论专家的身份来写作的。本书的读者可能来自人类学、法学、物理学、会计学以及管理学等等领域，他们使我对经济学以及博弈论的“地方主义”能保持更高的警惕。博弈论与信息经济学理论目前既见诸学术期刊，又存在于口耳相传之中。我的目的在于将它们呈现给你，使你得以领略如何使用标准范式来构造一个简单模型。回过头来，学术期刊上的文章似乎清晰不足而复杂有余。这恰恰因为它们都是原创性的，所以，即使是发现者本人也往往不能完全把握一个全新的想法。直到若干后续文章出现后，我们方可逐渐地完全领会这一想法，并惊异于其简

洁。但是学术期刊的编辑们是决不会接受那些坦承与已有文章的想法完全一致而只是表述得更为明晰的文章的。这种明晰化的努力最多只能潜藏于某些新文章的引言之中，或者浓缩为文献综述中的一段。因此，学生们会发现，每一个构思都和它还是新想法时一样难以理解。他们要么通过阅读艰涩难懂的原始文献来学习，要么通过某一顶尖经济系的老师的口头传授来学习。而本书却提供了第三种方法。

1994 年第二版的变化

到目前为止，距离第一版出版虽然仅几年时间，但有关博弈论的图书却层出不穷。对于那些想学习博弈论的人来讲，可以获得更多的帮助，而不必仅限于此书。在此，我将列出一些优秀的书籍。我还对《博弈与信息》一书作了全面的修订。阿尔弗雷德·马歇尔（Alfred Marshall）的《经济学原理》（*Principles of Economics*）于 1890—1920 年间再版了七次，他倾注了大量的心血于其中。乔治·施蒂格勒（George Stigler）曾对此深感惋惜，因为马歇尔本可以写出其他一些伟大的著作。我自然不能与马歇尔相提并论，所以我乐于牺牲一两篇“拉斯穆森文章”来推出这一新版本，虽然我不知道我能否坚持做到 2019 年。

对于第二版，我所做的是增加了若干新的论题，扩充了习题数目（并提供了详细的解答），更新了参考文献，更改了少数术语，并做了全面工作，力图使全书更加清晰可读。因为书籍就像诗一样，会被淘汰而不会尽善尽美（经济学基本原理就是很好的例证）。我去掉了第一版中关于存在性定理的讨论一节，对此问题，读者可参见 Fudenberg & Tirole（1991a）。第二版包括的新论题有：审计博弈（auditing games）、要挟诉讼（nuisance suits）、均衡的再协调（recoordination in equilibria）、合同的重新谈判（renegotiations in contracts）、超模性（supermodularity）、信号干扰（signal jamming）、市场微观结构（market microstructure）与政府采购（government procurement）。关于道德风险（moral hazard）的讨论重新进行了组织，总的章数也增加了两个，重复博弈和进入两个论题已独立成章。

2001 年第三版的变化

除了一些措辞上小的变动以外，我增加了一些新的内容，并对本书的某些章节进行了重新组合。

新的论题有：10.3 节“价格歧视”；12.6 节“建立一种讨价还价的方法：迈尔森-萨特思韦特机制”；13.3 节“风险和不确定性估价”（为私人拍卖估价）；附录 A.7“不动点定理”以及 A.8“一般属性”。

为了容纳新增加的部分，我去掉了 9.5 节“其他均衡概念：威尔逊均衡和反应均衡”（这些仍然可以在本书的网站获得）以及附录 A 中的“对奇数问题的回答”两部分内容。这些问题是非常重要的，我把它们放在了网站上。当然我最希望能够将所有可能错误的答案和正确答案作一个讨论，但是我知道，仅仅通过后来的学生来发现这些错误是非常缓慢的。因此，我把它们放在网站上，这样关注它们的大多数读者就可以通过网络看到，并且这些特别需要更新的问题也可以得到及时更新。

第 10 章“逆向选择和隐藏信息道德风险的机制设计”增加了许多新的内容，其中还包括原第 8 章和第 9 章的部分内容。原来 8.1 节“混同均衡、分离均衡和显示原理”是现在 10.1 节的内容；原来 8.2 节“隐藏知识的道德风险示例：销售员博弈”是现在 10.2 节的内容；原来 9.6 节“格罗夫斯机制”现在是 10.5 节。

第 15 章“新产业组织理论”已经删掉了，并对里面的几节作了重新安排。15.1 节“信贷和企业年龄：戴蒙德模型”现在是 6.6 节；15.3 节“市场的微观结构和凯尔模型”现在是 9.5 节；15.4 节“收益率规制和政府采购”现在是 10.4 节。

被重新组织或修订的主题包括：14.2 节“价格策略”；14.3 节“选址模型”；数学附录以及参考书目。4.5 节“贴现”现在出现在数学附录中；4.6 节“进化均衡：鹰鸽博弈”现在变为 5.6 节；7.5 节“状态空间图：保险博弈Ⅰ和Ⅱ”现在变为 8.5 节，并且第 8 章的各节作了重新排序；14.2 节“信号干扰”现在变为 11.6 节。对 1.1 节“基本定义”作了较大改动：用阻止进入博弈替代了 OPEC 博弈，以便说明博弈论和决策理论的区别。其他的章节也作了少量的修改。

一些读者相对于第二版来说更喜欢第一版，因为他们认为在第二版中新增加的内容使他们更难掌握。为了解决这个问题，我把原来我认为可以跳过的章节又重新作了解释。对于参考书目，我将保持章节与主题出处紧密结合的风格。

本书最具特色的两点并没有在封面上体现。一个是网站，网址是：http：//rasmusen. org/GI/index. html。

网站提供了对奇数习题的答案，新练习题和答案、更正，我自己在教学过程中用来做投影的文件，以及其他我认为可能对本书的读者有帮助的内容。

第二个新的特点是读本自身，拉斯穆森（Rasmusen，2001）的版本——我教授这门课时所使用的经过润色的版本，由布莱克威尔出版公司（Blackwell Publishing）出版，它包括学术文章、新闻剪辑以及与本书章节相对应的卡通图片。我尽量将一些模棱两可或难以定位的内容涵盖其中，而不是仅仅把权威期刊上的经典文献罗列出来。

如果还有第四版，我将做三件事：(1) 在第 14 章对策略互补和策略替代作大量讨论，或者将此问题单独列为一章；(2) 增加霍姆斯特龙与米尔格罗姆（Holmstrom & Milgrom）1987 年关于线性化合同的文章；(3) 增加霍姆斯特龙与米尔格罗姆 1991 年发表的关于多任务代理的文章。我想知道有多少读者同意这样做，或许我将在网站上张贴这些问题。

2006 年第四版的变化

不管有关博弈论和产业组织方面的图书以及合同与拍卖方面的专著如何多如牛毛，我将一如既往继续将《博弈与信息》一书做好。我收到了很多读者的电子邮件，他们来自加拿大、智利、中国大陆、迪拜、德国、英国、印度、伊朗、意大利、牙买加、韩国、马来西亚、墨西哥、挪威、巴拉圭、葡萄牙、西班牙、中国台湾以及美国。这让我有信心推出新的版本。我将在新版本的后半部分对新模型以及不对称信息进行讨论。除此之外，我还在每章的末尾增加了课后习题及 14 个课堂博弈。除了下面提到的具体变动外，还有很多贯穿全书的细小变化。

改动最多的要数第 10 章（机制）、第 13 章（拍卖）和第 14 章（定价），当然其他章节中也有新增加的内容。原来第 14 章的伯特兰均衡（Bertrand equilibrium）、替代和互补策略以及第 15 章的专利竞赛内容都包含在了新版本的第 3 章（混合策略）中。第 3 章中还增加了新的一节，讲述有关均衡的存在性以及纯策略如何在一个混合策略中严格占优的例子。

第 7 章（道德风险Ⅰ）对拟线性效用函数和讨价还价中力量转变的影响进行了讨论。

第 8 章（道德风险Ⅱ）增加了一节，讲述霍姆斯特龙与米尔格罗姆 1991 年的关于多任务代理的讨论。代理者可以付出多种努力，从而得到多种结果，但只有一种是可测的。

第 9 章（逆向选择）提供了一个新的视角，通过一个生产博弈来阐述道德风险与逆向选择。

第 10 章（机制）同样采用了一个新的视角，通过生产博弈来说明机制设

计和交叉检验这一新内容。我增加了一节内容来讨论克劳福德和索贝尔（Crawford and Sobel）的发送者—接收者博弈。我对迈尔森（Myerson）的贸易博弈进行了删减，给出了一种而不是三种版本。通常，我力图使符号和对该章的分析相一致，着重强调对于坏类型的参与约束和好类型的激励相容约束相结合的标准结果。为了表述更直观，我将“隐藏知识道德风险”替换为“签约后隐藏知识”。

第 11 章（信号）包含了反信号传递（countersignalling，由费尔托维科、哈博和多（Feltovich，Harbaugh & To，2002）提出）这一新的内容。在这里，不像其他的依据类型来传达信息的方法，我让中等质量的类型发出信号，而最好的类型却故意不发出信号。同时，我还以一个新的、更简单的模型替换了第三版中以有限定价作为信号干扰的模型。

第 13 章（拍卖）是到目前为止改动最多的。在以前的版本中，对拍卖都是采取相对非技术性的处理。这是因为，本书的其他部分都是采取简单化的风格，而尝试在这一部分传达复杂而统一的风格是非常艰难的工作，我希望避免这些艰难的工作。然而现在，由于对原始材料已经进行了足够多的处理，使得将拍卖理论结合在一起显得更加容易，所以我把这一章写得更为丰富，也更为技术化。这使得我可以增加如下一些主题：共同支付拍卖、对收入等价原理的证明、对保留价格的边际收入解释、在一般价值拍卖中对不同拍卖规则进行比较的一般模型、克伦佩雷尔（Klemperer）钱夹博弈、从属关系以及联结原理。

第 14 章（定价）中有一节用垄断和寡头垄断讨论垂直质量差异，这也可以类似讨论阻碍生产问题。

第 15 章（进入）依然保留在网站上。因为这些主题缺乏技术一致性，虽然它们可以作为前面章节的很好的例子，但我认为，由于在这一版中增加了前面章节中模型的个数，它们已经包含了足够的例子，因而我对此将不再讨论。

本书的网址是：http：//rasmusen. org/GI。

奇数习题答案以及课堂博弈教学参考的网址是：http：//rasmusen. org/GI/funstuff. htm。

课堂博弈是这一版的创新。我发现在 MBA 和大学课堂中让学生们参与到博弈的实践中是非常有帮助的。最大的益处是强迫他们去思考可能的策略，并让学生们认识到，即使在教室中这种可控的条件下，模型依然是对现实世界的不完美描述，但它们提供了一个思考现实世界的出发点。因为很多结果都有可能出现，所以大多数博弈对于讲授实际结果的帮助都不大，但类似于案例研究这样的内容，尤其是那些学生们和教师可以评论的历史，还是非常

有帮助的。这些博弈对于博士研究生是否有帮助仍是个未知数，但他们需要认识到模型与现实之间的联系，而这在讲课中是非常难以表达的。

课堂博弈在特定的情况下会如何起作用？我非常乐于听取这方面的反馈。虽然在书中已经包含了对实际问题的详细说明（例如，应将哪些信息带进课堂，以及哪些方法有可能会被参与者错用等），但我确信我会得到关于实际应用和解释的改进意见。书中的每一章都有一个博弈的例子，但有些题目自身相对于其他题目来讲比较勉强，例如混合策略、公共产品困境（public goods dilemmas）以及逆向归纳等，尤其是，签订契约（contracting）这个题目就不是特别适用于博弈。

《博弈与信息》相关读物的精装版与平装版会继续由布莱克威尔出版公司出版，它的网址是：http：//rasmusen. org/GI/reader/rcontents. htm。

如何使用本书

本书分为三部分：第一部分有关博弈论，第二部分有关信息经济学，第三部分为具体问题的应用。

对于仅涉及博弈论的课程来说，第一部分自身就已够用。第三部分的若干内容也可用来辅以讲述。如果学生对基本的博弈理论已经较为熟悉，那么第二部分可用于信息经济学的课程。这本书也很适用于作为有关产业组织理论课程的辅助教材。我在印第安纳大学商学院为一年级以及二年级博士生开设的一学期的课程中，对各章内容都有所讲授，并依据课程进展略加调整。

每章后面都有注和习题。以原始文献来充实一本类似于本书的教材是有用的，但我将其留给那些对某一主题感兴趣并愿意深究的读者或他们的导师去做。我也建议读者试着参加涉及本书某些主题的最新研究动向的专题讨论会。虽然大多数讨论会的内容令人难以理解，但当听到一个刚刚在一周前弄清了“完美”是什么意思的人质疑主讲人：“你确信这一均衡是完美的吗?”时，那真是令人兴奋!

在每章后面的习题中，有些对本书中已有的概念作了延伸，有些则引入了新的概念。在本书网站上对奇数习题给出了解答。对于那些力图弄懂内容，却苦于没有导师的读者来说，我尤其建议他们将习题做一遍。

每一章的章末注，既包括独立材料，也包括参考文献。与众多书中的注释不同的是，它们不应被轻易忽略，因为其中许多是十分重要的，仅仅由于有所离题而被限定于正文之外。较不重要的那些注或是提供了额外的例子，或是列出了参考性的技术结果。本书结尾处的数学附录提供了技术

性的附注，定义了若干数学术语，并列出了一些并未在正文中用到的条目，以备参考。

数学要求

在考察以往的博弈论图书的序言时，我发现如果对读者应具备的数学背景做建议，常常会被指责为脱离现实。此处的数学水准与卢斯和拉法（Luce &Raffia，1957）提到的差不多，我与其画蛇添足，不如直接转述其专著第 8 页上的建议：

> 也许最重要的要求莫过于这一被错误定义的能力：数学思维。我们也希望这一能力不被置于显著位置，但它在某种程度上的确是需要的，这一点毋庸置疑。读者必须能接受条件性表述，即使他感觉假定是错误的；他必须对数学的简洁表示出宽容；他必须有足够的耐心跟随着古怪的数学构造；最重要的是，他必须与这一方法产生共鸣。这种共鸣不仅基于他对这一方法在众多经验科学中已获得一定成功的了解，而且基于他对现有科学中严谨的演绎推理的必要性的认识。

如果你对“风险规避”、“一阶条件”、“效用函数”、“概率密度”和“贴现率”等名词都一无所知的话，要想完全理解本书未免勉为其难。而浏览本书，你却会发现公式出现的频率其实大大低于研究生一年级的微观经济学教科书的水平。从某种程度上说，博弈论的抽象程度其实逊于价格理论。因为其涉及的是单个主体，而非加总的市场，且起步于解释特定事实，而非提供经济计量学识别。但数学是最基本的，魏教授在他未发表的非正式课堂笔记中对此作了很好的解释：

> 我的学习和教学经历使我确信，检验一个证明（这个证明不需要太多的数学）是学习的最有效的途径，它有助于培养你的直觉，提高你的写作能力并使创造力得到提升。当然，这种训练对于思维简单、兴趣狭窄的人来说是非常痛苦的。
>
> 记住，一个好的证明在感觉上应该是流畅的，使得任何严谨的读者在读它时如同我们读《迈阿密先驱报》（*Miami Herald*）一样。同时，它也应该是简练的，以致没有人可以对它增加、删减甚至改动一个词，就像我们喜欢罗伯特·弗罗斯特（Robert Frost）的诗一样。

对于魏教授的解释，我完全同意。

其他书目

在本书第一版问世之时，它所包括的绝大多数论题在当时已有的关于博弈论或信息经济学的图书中都找不到。涉及博弈论的较老的书目包括：Luce & Raiffa（1957），Moulin（1986），Ordeshook（1986），Rapoport（1960，1970）和 Shubik（1982）。关于信息经济学的书籍主要论述的是不确定下的决策问题，而不是不对称信息的问题。自本书第一版出版以来，博弈论的著作层出不穷。新书出版的数量已经从涓涓细流发展成为滔滔洪水，其中最令人欣慰的是书目的多样性。每本书都有其不同的侧重点，老师和学生都可以从中受益，而这一点在很多其他的领域都难以做到。我们还没能将所有内容聚集在一起，这可能是因为教师仍然在将他们自己在课堂上讲授的书本中没有出现过的独立材料转化为课本。我只希望我可以说，我已经将所有竞争者的好想法都写进了现在的这一版本中。

在博弈论的鼓舞下，你也许会问，为什么我乐于将我所有竞争者的书目列在这里，免费为那些可以取代我这本书的书目作宣传？其中的答案之一是，你必须购买本书并阅读以介绍发送信号为核心内容的第 11 章。之后你就会明白，只有一个对自己所写的书特别有信心，并且认为他的书与其他可能的替代品相比是一本非常好的书的作者才会这样做，而且你会更加确信你购买本书是一个非常明智的决定。

关于博弈论及其应用的书

1988 **Tirole，Jean**，*The Theory of Industrial Organization*. MIT Press. 479 pages. 至今仍然是高级产业组织的标准教材。

1989 **Eatwell，John，*Murray Milgate*，*& Peter Newman***，eds.，*The New Palgrave*：*Game Theory*. Norton. 264 pages. 收集了杰出学者关于博弈论方面的简短文章。

Rasmusen，Eric，*Games and Information*，1st edition. Blackwell Publishing. 352 pages.

Schmalensee，Richard & Robert Willig，eds.，*The Handbook of Industrial Organization*，in two volumes. North-Holland. 收集了杰出学者关于产业组织的中长篇文章。

Spulber, Daniel, *Regulation and Markets*. MIT Press. 690 pages. 博弈论在收益率规则中的应用。

1990 **Banks, Jeffrey,** *Signalling Games in Political Science*. Harwood Publishers. 90 pages. 现在已过时，但仍然值得一读。

Friedman, James, *Game Theory with Applications to Economics*, 2nd edition. Oxford University Press (1st edition, 1986). 322 pages. 关于重复博弈的主要文献。

Kreps, David, *A Course in Microeconomic Theory*. Princeton University Press. 850 pages. 此书是范里安（Varian）博士的微观经济学教材的有力竞争者，在形式上采用较多的谈话风格，虽然与杰出经济学家在细节问题上进行探讨这种形式会使得很多学生感到紧张。

Kreps, David, *Game Theory and Economic Modeling*. Oxford University Press. 195 pages. 对纳什均衡及其相关问题进行讨论。

Krouse, Clement, *Theory of Industrial Economics*. Blackwell Publishing. 602 pages. 在对相同主题的阐述方面，这本书要比梯若尔（Tirole）1988年出版的书的轮廓更清晰、更好。

1991 **Dixit, Avinash K. & Barry J. Nalebuff,** *Thinking Strategically: The Competitive Edge in Business, Politics, and Everyday Life*. Norton. 393 pages. 这是一本以传统方式讲述热门学科的著作，它充满了有趣的例子，蕴涵着深邃的思想。尽管有许多新书充斥进来与其竞争，但是我依旧选择这本书为我的MBA学生讲授了半个学期。

Fudenberg, Drew & Jean Tirole, *Game Theory*. MIT Press. 579 pages. 这本书已经成为博士生二年级博弈论课程的标准教材（但是我希望学生在学习较为困难的部分时，可以从《博弈与信息》中得到帮助）。

Milgrom, Paul and John Roberts, *Economics of Organization and Management*. Prentice-Hall. 621 pages. 这是一本关于怎样思考组织和管理的范本。作者在讲授MBA课程时就选用此书，但是我怀疑这本书除了斯坦福商学院以外能否普遍适用。

Myerson, Roger, *Game Theory: Analysis of Conflict*. Harvard University Press. 568 pages. 这是一本高水平的书。在修订第三版的时候，我就注意到迈尔森的文章是经得起时间检验的。在第四版中有更多迈尔森的文章。

1992 **Aumann, Robert & Sergiu Hart,** eds., *Handbook of Game Theory with Economic Applications*, Volume 1. North-Holland. 733 pages. 这是一

本杰出学者关于博弈论的论文集。

Binmore, Ken, *Fun and Games: A Text on Game Theory*. D. C. Heath. 642 pages. 一分耕耘，一分收获；但是即使在学习数学的过程中，痛苦和快乐也是并存的。

Gibbons, Tobert, *Game Theory for Applied Economists*. Princeton University Press. 267 pages. 这或许是本书主要的竞争者，两者之间的差异越来越小。

Hirshleifer, Jack & John Riley, *The Economics of Uncertainty and Information*. Cambridge University Press. 465 pages. 这是一本未得到充分认可的书，它强调的是信息而不是博弈。

McMillan, John, *Games, Strategies, and Managers: How Managers Can Use Game Theory to Make Better Business Decisions*. Oxford University Press. 252 pages. 此书写得很好，大多数采取口语化的写作风格，是思路清晰和写作条理相结合的例证。

Varian, Hal, *Microeconomic Analysis*, 3rd edition. Norton (1st edition, 1978; 2nd edition 1984). 547 pages. 当我在 1980 年上课的时候，范里安的这本书就是博士生微观经济学的标准教材。第三版作了一些扩充，加入了大量博弈论和信息经济学的内容。

1993 **Basu, Kaushik**, *Lectures in Industrial Organization Theory*. Blackwell Publishing. 236 pages. 有大量博弈论和信息经济学的内容。

Laffont, Jean-Jacques & Jean Tirole, *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*. MIT Press. 705 pages. 如果你对《博弈与信息》的 10.6 节感兴趣，这是一整本有关模型的书。

Martin, Stephen, *Advanced Industrial Economics*. Blackwell Publishing. 660 pages. 对于一些特别的模型，此书给出了详细、独到的分析并对实证文章比克劳斯、夏伊和梯若尔（Krouse, Shy and Tirole）给予了更多的关注。

1994 **Aumann, Robert & Sergiu Hart**, eds., *Handbook of Game Theory with Economic Applications*, Volume 2. North-Holland. 这是一些杰出学者关于博弈论方面的论文集。

Baird, Douglas, Robert Gertner & Randal Picker, *Strategic Behavior and the Law: The Role of Game Theory and Information Economics in Legal Analysis*. Harvard University Press. 330 pages. 通过契约、程序、民事侵权来解释博弈论中容易表达但不易说明的内容。

Gardner, Roy, *Games for Business and Economics*. John Wiley and Sons. 480 pages. 印第安纳大学已经出版了两本而不是一本关于博弈论的教材。

Morris, Peter, *Introduction to Game Theory*. Springer-Verlag. 230 pages. 在我的书库中还没有这本书。

Morrow, James, *Game Theory for Political Scientists*. Princeton University Press. 376 pages. 这是一个常见的主题，但是有政治学倾向，对效用理论很有用。

Osborne, Martin & Ariel Rubinstein, *A Course in Game Theory*. MIT Press. 352 pages. 与艾希贝格尔（Eichberger）1993 年的版本类似。该书 313～319 页的"结论列表"部分写得非常好，不必使用专门的符号就可以对数学命题进行总结。

Rasmusen, Eric, *Games and Information*, 2nd edition. Blackwell Publishing.

1995 **Mas-Colell, Andreu, Michael D. Whinston, & Jerry R. Green,** *Microeconomic Theory*. Oxford University Press. 981 pages. 它将范里安博士生微观经济学教材中的博弈与信息及一般均衡结合在一起，是一本内容丰富、翔实的很好的参考书。

Owen, Guillermo, *Game Theory*. Academic Press, 3rd edition (1st edition, 1968; 2nd edition, 1982). 这本书清晰地列出了博弈论中较老的方法，保留了博弈论一直沿用的方法。

1996 **BesanKo, David, David Dranove, & Mark Shanley,** *Economics of Strategy*. John Wiley and Sons. 这可以作为印第安纳大学 MBA 学生的教材，书中清晰地解释了一些独到的思想，比如策略补充。

Shy, Oz, *Industrial Organization, Theory and Applications*. MIT Press. 466 pages. 这是一本新的、与梯若尔 1988 年出版的书相比略容易的著作。

1997 **Gates, Scott & Brian Humes,** *Games, Information, and Politics: Applying Game Theoretic Models to Political Science*. University of Michigan Press. 182 pages.

Ghemawat, Pankaj, *Games Businesses Play: Cases and Models*. MIT Press. 255 pages. 运用博弈论分析 6 个 MBA 层次的商业案例，是理论与实际相结合的典范。

Macho-Stadler, Ines, & J. David Perez-Castillo, *An Introduction to the*

Economics of Information: Incentives and Contracts. Oxford University Press. 277 pages. 描述了道德风险、逆向选择和信号。

Romp, Graham, *Game Theory: Introduction and Applications*. Oxford University Press. 284 pages. 有与众不同的应用（见宏观经济学、贸易政策和环境经济学章节）及大量练习和答案。

Salanie, Bernard, *The Economics of Contracts: A Primer*. MIT Press. 232 pages. 专门论述了增长的重要性。

1998 **Bierman, H. Scott & Luis Fernandez**, *Game Theory with Economic Applications*. Addison Wesley, 2nd edition (1st edition, 1993). 452 pages. 此书可作为本科生的教材，有大量很好的例子。

Dugatkin, Lee & Hudson Reeve, ed., *Game Theory & Animal Behavior*. Oxford University Press. 320 pages. 仅是生物学上的应用。

1999 **Aliprantis, Charalambos & Subir Chakrabarti**, *Games and Decision-making*. Oxford University Press. 224 pages. 一本博弈论方面的大学教材，博弈论教材的第三版即将由印第安纳大学出版，包括决策理论、拍卖以及讨价还价。

Basar, Tamar & Geert Olsder, *Dynamic Noncooperative Game Theory*, 2nd edition, revised. Society for Industrial and Applied Mathematics (1st edition, 1982; 2nd edition, 1995). 这是一本源自数学家并服务于数学家的书，它的参考书目和本书的参考书目几乎没有重复。此书适合于喜爱微分方程和线性代数的读者。

Dixit, Avinash & Susan Skeath, *Games of Strategy*. Norton. 600 pages. 字体和颜色布局优美。博弈论增加了讨价还价、拍卖、投票等章节。对很多博弈给出了口语化的解释。

Dutta, Prajit, *Strategies and Games: Theory And Practice*. MIT Press. 450 pages.

Muthoo, Abhinay, *Bargaining Theory with Applications*. Cambridge University Press. 357 pages. 正如题目所说，这是一本讨价还价模型大全。

Stahl, Saul, *A Gentle Introduction to Game Theory*. American Mathematical Society. 176 pages. 按照数学的习惯，有大量练习和答案。

Wolfstetter, Elmar, *Topics in Microeconomics: Industrial Organization, Auction, and Incentives*. Cambridge: Cambridge University Press. 370 pages. 我特别喜欢拍卖和随机占优这一章。

当我在21世纪出版第四版时，我意识到我不得不更具有选择性。我在下面列举了更多的书目，但却没有为全面概括这些书目作出努力。迈克·肖尔（Mike Shor）的网站是一个查询新书目非常好的地方，网址是：http://www.gametheory.net/cgi-bin/viewbooks.pl。

2000 **Gintis, Herbert**, *Game Theory Evolving*. Princeton University Press. 531 pages. 一本非常优秀的关于问题以及求解的书，特别关注生物进化论并对之作了大量解释。

Vives, Xavier, *Oligopoly Pricing: Old Ideas and New Tools*. MIT Press. 441 pages. 关于这个主题的标准教材。

2001 **Laffont, Jean-Jacques & David Martimort**, *The Theory of Incentives: The Principal-Agent Model*. Princeton University Press. 421 pages. 因其对历史发展的评论以及对方程的敏锐直觉而特别。

Rasmusen, Eric, *Games and Information*. Blackwell Publishing, 3rd edition. 445 pages.

Rasmusen, Eric, ed. *Readings in Games and Information*. Blackwell Publishing. 427 pages. 收集了报纸杂志上关于博弈论以及信息经济学的文章，并为每个主题都配上了插图。

2002 **Aumann, Robert & Sergiu Hart**, eds., *Handbook of Game Theory with Economic Applications*, Volume 3. North-Holland. 733 pages. 由杰出的学者们围绕博弈论这个主题悉心选择并完成的一本论文集。

Krishna, Vijay, *Auction Theory*. Academic Press. 297 pages. 拍卖理论的标准教材。

McAfee, R. Preston, *Competitive Solutions: The Strategist's Toolkit*. Princeton University Press. 404 pages. 一本非常出色的关于"管理者策略"的书，通过语言和商业案例阐述了博弈论以及信息经济学的观念。是一本值得教授以及MBA学生逐页阅读的书。

Watson, Joel. *Strategy: An Introduction to Game Theory*. W. W. Norton & Co. 334 pages. 一本关于合同理论的书，其主题和水平同本书类似。

2003 **Milgrom, Paul**, *Putting Auction Theory to Work*. Cambridge University Press. 368 pages. 对数学基础的应用非常谨慎，而且包含了许多特别的案例（多目标、类型关联等）。

Osborne, Martin, *An Introduction to Game Theory*. Oxford University

Press. 504 pages. 他的第二本博弈论专著，是为本科生而写，非常严谨，但仅包含很少的微积分内容。

2004 **Klemperer, Paul**, *Auctions: Theory and Practice*. Princeton University Press. 246 pages. 很口语化，但对于其包含的数学内容讲述得非常好。

2005 **Bolton, Patrik & Mathias Dewatripont**, *Contract Theory*. MIT Press. 688 pages. 详细描述了委托—代理模型。

2006 **Rasmusen, Eric**, *Games and Information*. Blackwell Publishing, 4th edition (1st edition, 1989; 2nd edition, 1994; 3rd edition, 2001). 你正在阅读的这本书。

联系信息

本书的网址是：http://www.rasmusen.org/GI。

网站提供了每章末奇数习题的答案以及有关课堂博弈的注解。对于偶数习题的答案，导师或其他读者如果有合适的理由，可以与我联系。我的电子邮箱：Erasmuse@Indiana.edu；也可以给我写信或发传真，通信地址：Eric Rasmusen, Department of Business Economics and Public Policy, Kelley School of Business, Indiana University, 1309 East 10th Street, Bloomington, Indiana, USA 47405-1701。传真：(812) 855-3354。

如果你想与本书的出版者取得联系，其地址是：Blackwell Publishing, 9600 Garsington Road, Oxford Ox4 2DQ, UK 或者 350 Main Street, Malden, Massachusetts 02148, U.S.A。

网站上的文件有两种格式：一种是 *.tex, LaTeX 文本，只使用 ASCⅡ 字符，但是没有图表；另一种是 *.pdf, Adobe Acrobat 格式，这种已被格式化，可用免费浏览程序阅读。我鼓励读者提供更多的课后习题以及他们发现的错误和遇到的困难，这些可以通过发电子邮件告诉我。

致　谢

我要感谢那些为了使本书的内容更加清晰提供评论、为讨论题目和参考文献提供建议以及发现书中错误的人们。我把与他们相联系的内容放在他们名字的后面，但要记住，这些内容是在不断变化的（当 A.B. 做我的研究助理时，他还不是金融学教授）。

第一版：Dean Amel（Board of Governors，Federal Reserve），Dan Asquith（D. E. C.），Sushil Bikhchandani（UCLA business economics），Patricia Hughes Brennan（UCLA accounting），Paul Cheng，Luis Fernandez（Oberlin economics），David Hirshleifer（Ohio State finace），Jack Hirshleifer（UCLA econimics），Steven Lippman（UCLA management science），Ivan Png（Singapore），Benjamin Rasmusen（Roseland Farm），Marilyn Rasmusen（Roseland Farm），Ray Renken（Central Florida physics），Richard Silver，Yoon Suh（UCLA accounting），Brett Trueman（Berkeley accounting），Barry Weingast（Hoover）以及管理200班的学生们提供的宝贵评论。D. Koh，Jeanne Lamotte，In-Ho Lee，Loi Lu，Patricia Martin，Timothy Opler（Ohio State finace），Sang Tran，Jeff Vincent，Tao Yang，Roy Zerner，特别是Emmanuel Petrakis（Crete economics）都在某个阶段做过我的助研。Robert Boyd（UCLA anthropology），Mark Ramseyer（Harvard law），KenTaymor以及John Wiley（UCLA law）对书稿的每一章不断提出建议。

第二版：Jonathan Berk（U. British Columbia commerce），Mark Burkey（Appalachian State economics），Craig Holden（Indiana finance），Peter Huang（Penn Law），Michael Katz（Berkeley business），Thomas Lyon（Indiana business economics），Steve Postrel（Northwestern business），Herman Quirmbach（Iowa State economics），H. Shifrin，George Tsebelis（UCLA poli sci），Thomas Voss（Leipzig sociology）和Jong-Shin Wei提出了有益的建议。Alexander Butler（Louisiana state finance）和An-Sing Chen是我的助研。我在加州大学洛杉矶分校的管理200班和印第安纳大学G601班的学生给予了宝贵的帮助，特别是他们不得不忍受第一版习题中的一些错误。

第三版：Kyung-Hwan Baik（Sung Kyun Kwan），Patrick Chen，Robert Dimand（Brock economics），Mathias Erlei（Muenster），Francisco Galera，Peter-John Gordon（University of the West Indies），Erik Johannessen，Michael Mesterton-Gibbons（Pennsylvania），David Rosenbaum（Nebraska economics），Richard Tucker，Hal Wasserman（Berkeley）以及Chad Zutter（Indiana finance）为第三版提供了宝贵的帮助。布莱克威尔出版公司提供了最高质量的匿名评论。Scott Fluhr，Pankaj Jain和John Spence是我的助研，G601班的新生为使该版内容更加清晰提供了无价的帮助。

第四版：Abdullahi Abdulkadri（U. of the West Indies），Michael Alvarez（Bergen），Michael Baye（Indiana），David Collie（Cardiff），Bouwe Dijkstra（Nottingham），Yanqiong Ding（Shantung），Ralf Elsas（Goethe），Sean Gail-

mard (Chicago), Diego Garcia (Dartmouth), Richmond Harbaugh (Indiana), Paul Klemperer (Oxford), Bettina Kromen (Cologne), Eva Labro (LSE), Andrew Lilico (Europe Economics), Robert Losee (UNC-CH), Ron Mallon (Utah), Frank P. Maier-Rigaud (Friedrich Wilhelms U.), Ian McCarthy (Indiana), Alexandra Minicozzi (Texas), Luis Pacheco (Portucalense), Tommy Pousset (Louvain), Michael Rothkopf (Rutgers), Pedro Sousa (Portucalense), Charles Tharp, Randal Verbrugge (BLS), Victor Yip (Hong Kong), Lily Yu (Cornell), 尤其是 Maria Arbatskaya (Emory), Kyung Baik (Sungkyunkwan), Martin Caley (Isle of Man Treasury) 和 Michael Rauh (Indiana) 提供了有益的评论。Lan Chang, Ariel Kemper, Manu Raghav, Michael Swetz 和 Benjamin Warolin 是我的助研。像往常一样，我的学生们是本书写作的重要参与者。

艾里克·拉斯穆森教授
商业经济与公共政策系
凯利商学院，印第安纳大学
布卢明顿，印第安纳

总 目 录

* 标有星号的章节不那么重要。

引言 …… 1
历史 …… 1
博弈论的方法 …… 2
实例化理论 …… 3
本书的风格 …… 5
注 …… 8

第一部分 博弈论

第 1 章 博弈的规则 …… 13
1.1 基本定义 …… 13
1.2 劣策略和优势策略：囚徒困境 …… 22
1.3 重复剔除优势：俾斯麦海之战 …… 25
1.4 纳什均衡：智猪博弈、性别战和协调博弈 …… 29
1.5 聚点 …… 37
注 …… 39
习题 …… 43
渔场：第 1 章的课堂博弈 …… 46

第 2 章　信息 ······ 48
2.1　博弈的策略式和扩展式 ······ 48
2.2　信息集 ······ 54
2.3　完美信息、确定信息、对称信息与完全信息 ······ 58
2.4　海萨尼转换与贝叶斯博弈 ······ 62
2.5　例子：潘格赔偿博弈 ······ 72
注 ······ 75
习题 ······ 77
酒吧中的贝叶斯法则：第 2 章的课堂博弈 ······ 80

第 3 章　混合策略与连续策略 ······ 82
3.1　混合策略：福利博弈 ······ 82
3.2　支付均等化方法与时间安排博弈 ······ 87
*3.3　一般参数且有 N 个参与人情况下的混合策略：市民责任博弈 ······ 96
*3.4　随机化并不总是混合的：审计博弈 ······ 100
3.5　连续策略：古诺博弈 ······ 103
3.6　连续策略：伯特兰博弈、策略互补和策略替代 ······ 107
*3.7　均衡的存在性 ······ 113
注 ······ 116
习题 ······ 123
消耗战：第 3 章的课堂博弈 ······ 128

第 4 章　对称信息动态博弈 ······ 129
4.1　子博弈完美 ······ 129
4.2　完美的一个例子：进入威慑 I ······ 132
4.3　要挟诉讼博弈中的可置信威胁、沉没成本和开集问题 ······ 134
4.4　子博弈中帕累托优势均衡的再调整：帕累托完美 ······ 142
注 ······ 144
习题 ······ 146
出售美国航空：第 4 章的课堂博弈 ······ 149

第 5 章　对称信息下的声誉和重复博弈 ······ 152
5.1　有限期重复博弈和连锁店悖论 ······ 152

5.2 无限期重复博弈、最小最大惩罚和无名氏定理 …… 154
5.3 声誉：单边囚徒困境博弈 …… 161
5.4 无限次重复博弈的产品质量模型 …… 163
*5.5 消费者转换成本博弈中的马尔可夫均衡和交迭世代 …… 167
*5.6 进化均衡：鹰鸽博弈 …… 170
注 …… 175
习题 …… 180
重复囚徒困境：第 5 章的课堂博弈 …… 184

第 6 章 不完全信息动态博弈 …… 186
6.1 完美贝叶斯均衡：进入威慑博弈Ⅱ、Ⅲ …… 186
6.2 完美贝叶斯均衡的再精炼：进入威慑和博士录取博弈 …… 191
6.3 共同知识的重要性：进入威慑Ⅳ、Ⅴ …… 196
6.4 重复囚徒困境博弈中的不完全信息："四人帮"模型 …… 198
6.5 阿克塞尔罗德竞赛 …… 201
*6.6 信贷和企业年龄：戴蒙德模型 …… 203
注 …… 205
习题 …… 209
不完全信息下的重复囚徒困境：第 6 章的课堂博弈 …… 211

第二部分 非对称信息

第 7 章 道德风险：隐藏行动 …… 215
7.1 非对称信息模型分类 …… 215
7.2 一个委托—代理模型：生产博弈 …… 219
7.3 激励相容约束与参与约束 …… 230
7.4 最优合同：百老汇博弈 …… 231
注 …… 237
习题 …… 241
道德风险：第 7 章的课堂博弈 …… 247

第 8 章 道德风险高级专题 …… 249
8.1 效率工资 …… 249
8.2 锦标赛 …… 252

*8.3 制度与代理问题 …… 254
*8.4 重新谈判：回收博弈 …… 258
*8.5 状态空间图：保险博弈Ⅰ和Ⅱ …… 261
*8.6 多个代理人联合生产：霍姆斯特龙团队模型 …… 267
*8.7 多任务代理问题 …… 270
注 …… 277
习题 …… 281
游说议员者团队：第 8 章的课堂博弈 …… 285

第 9 章 逆向选择 …… 286
9.1 引言：生产博弈Ⅵ …… 286
9.2 确定性下的逆向选择：柠檬货Ⅰ与Ⅱ …… 292
9.3 异质偏好：柠檬货Ⅲ与Ⅳ …… 296
9.4 不确定性下的逆向选择：保险博弈Ⅲ …… 299
*9.5 市场微观结构 …… 304
*9.6 多种应用 …… 308
9.7 逆向选择和道德风险联合：生产博弈Ⅶ …… 312
注 …… 314
习题 …… 318
股票销售中的逆向选择：第 9 章的课堂博弈 …… 321

第 10 章 机制设计和签约后隐藏知识 …… 323
10.1 机制、披露、十字交叉检验法和显示原理 …… 323
10.2 迈尔森机制设计 …… 335
10.3 签约后隐藏知识的例子：销售员博弈 …… 338
*10.4 格罗夫斯机制 …… 342
10.5 价格歧视 …… 345
*10.6 收益率规制和政府采购 …… 354
注 …… 365
习题 …… 368
规制棘轮：第 10 章的课堂博弈 …… 371

第 11 章 信号传递 …… 373
11.1 知情参与人先行动：信号传递 …… 373

11.2　教育信号传递模型的各种变体 …… 378
11.3　对教育中的信号传递的一般评论 …… 383
11.4　知情参与人后行动：信息甄别 …… 384
*11.5　两个信号：新股低价发行博弈 …… 393
*11.6　信号干扰和极限定价 …… 395
*11.7　反信号传递 …… 399
注 …… 403
习题 …… 405
结婚能力信号传递：第 11 章的课堂博弈 …… 408

第三部分　应　用

第 12 章　讨价还价 …… 413
12.1　基本的讨价还价问题：分馅饼 …… 413
12.2　纳什讨价还价解 …… 415
12.3　有限期的轮流出价 …… 417
12.4　无限期的轮流出价 …… 419
12.5　不完全信息 …… 422
*12.6　建立一种讨价还价的方法：迈尔森-萨特思韦特模型 …… 426
注 …… 438
习题 …… 440
工人讨价还价博弈：第 12 章的课堂博弈 …… 443

第 13 章　拍卖 …… 444
13.1　私人和共同价值，连续和离散估价 …… 444
13.2　私人价值拍卖中不同规则下的最优策略 …… 449
13.3　收益等价性、风险规避与不确定性 …… 464
13.4　保留价格与边际收益方法 …… 470
13.5　共同价值拍卖和赢家诅咒 …… 476
13.6　非对称均衡、关联、联结：钱夹博弈 …… 487
注 …… 491
习题 …… 495
拍卖：第 13 章的课堂博弈 …… 497

第 14 章　定价

第 14 章　定价 ………………………………………………………… 499
14.1　产量作为策略：古诺均衡的再讨论 ……………………… 499
14.2　生产能力约束：艾奇沃斯悖论 ………………………… 503
14.3　区位模型 …………………………………………………… 508
14.4　比较静态分析和超模博弈 ……………………………… 518
*14.5　垂直差异化 ……………………………………………… 523
*14.6　耐用品垄断 ……………………………………………… 532
注 ………………………………………………………………………… 538
习题 ……………………………………………………………………… 542
科雷特的寡头博弈：第 14 章的课堂博弈 …………………………… 544

数学附录 ……………………………………………………………… 547
*A.1　符号………………………………………………………… 547
*A.2　希腊字母…………………………………………………… 549
*A.3　术语表……………………………………………………… 550
*A.4　公式与函数………………………………………………… 555
*A.5　概率分布…………………………………………………… 556
*A.6　超模性……………………………………………………… 557
*A.7　不动点定理………………………………………………… 559
*A.8　一般属性…………………………………………………… 561
*A.9　贴现………………………………………………………… 562
*A.10　风险 ……………………………………………………… 564

参考文献和人名索引 …………………………………………………… 567
主题索引 ………………………………………………………………… 617

图 目 录

1—1 干洗店博弈的决策树 …… 18
1—2 干洗店博弈的博弈树 …… 19
2—1 跟随领头羊Ⅰ的扩展式 …… 51
2—2 分级协调的扩展式表述 …… 52
2—3 拍卖股份博弈的时间线：(a) 较好的时间线；(b) 较差的时间线 …… 53
2—4 信息集与信息分割 …… 55
2—5 跟随领头羊Ⅱ …… 59
2—6 跟随领头羊Ⅲ：原博弈 …… 63
2—7 跟随领头羊Ⅲ：在海萨尼转换之后 …… 64
2—8 贝叶斯法则 …… 68
2—9 潘格赔偿博弈的博弈树 …… 73
3—1 新市场中的专利权争夺博弈的支付 …… 94
3—2 古诺博弈中的反应曲线 …… 104
3—3 斯塔尔伯格均衡 …… 106
3—4 异质产品的伯特兰反应函数 …… 110
3—5 古诺与异质伯特兰反应函数（策略替代与策略互补） …… 111
3—6 连续的反应函数和不连续的反应函数 …… 115
4—1 跟随领头羊Ⅰ …… 131
4—2 颤抖博弈：颤抖的手和子博弈完美的对比 …… 132
4—3 进入威慑Ⅰ …… 133

4—4 要挟诉讼博弈的扩展式 …… 136
4—5 帕累托完美难题 …… 143
5—1 维数条件 …… 158
5—2 老鹰—鸽子—自由民博弈的进化动态过程 …… 174
6—1 进入威慑Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ …… 187
6—2 博士录取博弈 …… 194
6—3 进入威慑Ⅴ …… 197
6—4 利率随时间变化的路径 …… 205
6—5 啤酒—蛋糕博弈 …… 208
7—1 非对称信息模型的分类 …… 217
7—2 生产博弈Ⅰ中的有效努力水平 …… 221
7—3 在工资 w^* 下获得努力水平 e^* 的三个合同 …… 222
7—4 代理模型中的移动支持 …… 235
8—1 保险博弈Ⅰ …… 262
8—2 使用完全与部分保险的保险博弈Ⅱ …… 265
8—3 对保险博弈Ⅱ中部分保险的进一步探讨 …… 266
8—4 霍姆斯特龙团队模型的合同 …… 268
9—1 柠檬货Ⅰ的扩展式表示 …… 294
9—2 柠檬货Ⅱ：相同偏好 …… 295
9—3 买方对汽车的评价高于卖方：柠檬货Ⅲ …… 296
9—4 柠檬货Ⅳ：卖方的评价不同 …… 297
9—5 保险博弈Ⅲ：不存在混同均衡 …… 301
9—6 保险博弈Ⅲ的一个分离均衡 …… 302
9—7 使得保险博弈Ⅲ中不存在均衡的曲线 …… 303
9—8 柠檬货Ⅲ：买方对车评价更高，并且最低质量为零 …… 317
10—1 销售员博弈中的混同均衡曲线 …… 339
10—2 分离均衡的无差异曲线 …… 341
10—3 线性和非线性定价 …… 346
10—4 完全价格歧视 …… 348
10—5 范里安非线性定价博弈 …… 351
10—6 边际需求与平均需求 …… 352
10—7 单交点性质的两个描述 …… 353
10—8 为什么生产成本昂贵公司的激励相容约束不是紧的 …… 361
11—1 教育Ⅵ：甄别博弈中不存在混同均衡 …… 377

11—2 教育Ⅶ：在甄别博弈中不存在分离和混同纯策略均衡 …………… 388
11—3 信号如何随方差变化 …………………………………………… 394
11—4 传递给定信号的不同方式 ……………………………………… 395
12—1 （a）纳什讨价还价博弈；（b）分馅饼博弈 ……………………… 415
12—2 双边交易Ⅱ中的交易 …………………………………………… 430
12—3 单一价格均衡中的交易 ………………………………………… 431
12—4 线性均衡中的交易 ……………………………………………… 433
13—1 平滑离散分布 …………………………………………………… 457
13—2 在全付拍卖中同质投标人的投标函数 ………………………… 461
13—3 拍卖和边际收益：（a）需要保留价格及（b）不需要保留价格 … 474
13—4 从标准正态分布信号中提取信息 ……………………………… 482
14—1 不同的需求曲线 ………………………………………………… 501
14—2 多重古诺-纳什均衡 ……………………………………………… 502
14—3 $p_b=30$、$p_a>30$ 以及 $K=70$ 时的配给规则 ……………………… 505
14—4 区位模型 ………………………………………………………… 509
14—5 霍特林定价的数字实例 ………………………………………… 512
14—6 霍特林区位博弈支付 …………………………………………… 515
14—7 三个参与人的纯策略不存在 …………………………………… 515
14—8 在三个参与人区位博弈中的具有混合策略密度函数的均衡 ……… 516
14—9 区位混合密度均衡 ……………………………………………… 517
14—10 区位中的均衡与效率 …………………………………………… 517
14—11 耐用品垄断博弈中买者在各期的边际收益 …………………… 535
A—1 凹性和凸性 ……………………………………………………… 550
A—2 上半连续 ………………………………………………………… 551
A—3 有三个不动点的映射 …………………………………………… 560
A—4 贴现 ……………………………………………………………… 564
A—5 均值不变展形 …………………………………………………… 565
A—6 三种密度函数的递增风险率 $f(v)/[1-F(v)]$ 图解 ……………… 566

表目录

1—1 干洗店博弈 …… 16
1—2 囚徒困境 …… 24
1—3 俾斯麦海之战 …… 26
1—4 剔除路径博弈 …… 28
1—5 智猪博弈 …… 30
1—6 建模者困境 …… 32
1—7 性别战 …… 33
1—8 分级协调 …… 34
1—9 危险的协调 …… 35
1—10 广义的囚徒困境 …… 40
1—11 一个抽象博弈 …… 44
1—12 风格与质地 …… 45
1—13 哪个博弈？ …… 45
1—14 一个 3×3 博弈 …… 46
2—1 分级协调 …… 49
2—2 跟随领头羊Ⅰ …… 50
2—3 信息分割 …… 56
2—4 信息种类 …… 58
2—5 贝叶斯术语 …… 67
2—6 支付（A）囚徒困境 …… 80

2—7 支付（B）坦白博弈 …… 80
3—1 福利博弈 …… 83
3—2 混合策略优于纯策略 …… 87
3—3 斗鸡博弈 …… 88
3—4 抓钱博弈 …… 92
3—5 一般 2×2 博弈 …… 96
3—6 具有混合策略均衡的 2×2 博弈 …… 98
3—7 市民责任博弈 …… 99
3—8 审计博弈Ⅰ …… 101
3—9 无意义的博弈 …… 125
3—10 接管博弈 …… 126
3—11 IMF 救助 …… 127
4—1 进入威慑Ⅰ …… 133
4—2 不同政策所得到的支付 …… 148
5—1 最小最大策略博弈 …… 160
5—2 囚徒困境博弈 …… 162
5—3 声誉起重要作用时的重复博弈 …… 163
5—4 乌托邦交换经济博弈 …… 172
5—5 鹰鸽博弈：经济学表示法 …… 172
5—6 鹰鸽博弈：生物学表示法 …… 173
5—7 贝诺伊特—克里希纳博弈 …… 181
5—8 进化上的稳定策略 …… 182
5—9 谈话动态 …… 183
5—10 抓钱博弈 …… 183
5—11 抓钱博弈动态 …… 184
5—12 混合最小最大博弈 …… 184
5—13 囚徒困境 …… 185
6—1 囚徒困境 …… 198
6—2 昂贵交谈博弈中的子博弈支付 …… 211
6—3 囚徒困境 …… 211
7—1 委托—代理模型的应用 …… 218
7—2 百老汇博弈Ⅰ：利润 …… 232
7—3 百老汇博弈Ⅰ：利润的概率 …… 232
7—4 百老汇博弈Ⅱ：利润 …… 236

7—5 道德风险博弈 …… 241
7—6 低努力与高努力下的产出 …… 242
7—7 企业家全盘出售 …… 242
7—8 产出和努力 …… 244
7—9 产出和努力 …… 245
7—10 产出函数Ⅰ …… 247
7—11 产出函数Ⅱ …… 247
8—1 幸运执行官博弈的产出 …… 250
8—2 存在误差的监管 …… 281
8—3 犯罪 …… 282
8—4 再次犯罪 …… 282
8—5 破产 …… 282
8—6 团队产出 …… 283
9—1 保险博弈Ⅲ的支付 …… 300
9—2 两次失败者 …… 320
10—1 沉默权利博弈的支付 …… 369
11—1 结婚值 …… 409
12—1 有限期的轮流出价 …… 419
12—2 无限期的轮流出价 …… 420
13—1 石油公司在竞争非常激烈的石油开采权拍卖中的投标额 …… 479
13—2 大班博弈 …… 495
A—1 常用函数 …… 556
A—2 贴现 …… 563

博弈目录

干洗店博弈 …… 16
囚徒困境 …… 24
俾斯麦海之战 …… 26
剔除路径博弈 …… 28
智猪博弈 …… 30
建模者困境 …… 32
性别战 …… 33
分级协调 …… 34
危险的协调 …… 35
序贯囚徒困境 …… 45
跟随领头羊Ⅰ …… 50
跟随领头羊Ⅱ …… 59
跟随领头羊Ⅲ …… 62
潘格赔偿博弈 …… 72
合资企业 …… 78
福利博弈 …… 83
斗鸡博弈 …… 88
消耗战 …… 90
抓钱博弈 …… 92
新市场中的专利权争夺 …… 92

市民责任博弈 …… 96
瑞士象棋博弈 …… 98
审计博弈Ⅰ …… 101
审计博弈Ⅱ …… 101
审计博弈Ⅲ …… 102
古诺博弈 …… 103
斯塔尔伯格博弈 …… 105
伯特兰博弈 …… 107
异质伯特兰博弈 …… 108
凑硬币 …… 124
投票悖论 …… 124
阿尔巴和罗马 …… 125
危险的滑冰 …… 126
颤抖博弈 …… 132
进入威慑Ⅰ …… 132
要挟诉讼Ⅰ …… 135
要挟诉讼Ⅱ …… 137
要挟诉讼Ⅲ …… 140
帕累托完美难题 …… 143
重复的进入威慑博弈 …… 146
三种方式的决斗 …… 146
投票周期 …… 148
连锁店悖论 …… 153
重复囚徒困境博弈 …… 154
产品质量 …… 163
消费者转换成本博弈 …… 167
鹰鸽博弈 …… 170
乌托邦交换经济博弈 …… 172
老鹰—鸽子—自由民博弈 …… 174
交迭世代 …… 180
有法律诉讼的产品质量博弈 …… 181
贝诺伊特-克里希纳博弈 …… 181
重复进行的进入威慑博弈 …… 182
进入威慑Ⅱ …… 187

进入威慑Ⅲ ………………………………………………………… 187
博士录取博弈 ………………………………………………………… 193
进入威慑Ⅳ ………………………………………………………… 196
进入威慑Ⅴ ………………………………………………………… 196
“四人帮”模型 ………………………………………………………… 199
戴蒙德模型 ………………………………………………………… 203
生产博弈Ⅰ ………………………………………………………… 220
生产博弈Ⅱ ………………………………………………………… 225
生产博弈Ⅲ ………………………………………………………… 227
生产博弈Ⅳ ………………………………………………………… 228
生产博弈Ⅴ ………………………………………………………… 229
百老汇博弈Ⅰ ………………………………………………………… 232
百老汇博弈Ⅱ ………………………………………………………… 236
幸运执行官博弈 ………………………………………………………… 250
回收博弈Ⅰ ………………………………………………………… 259
回收博弈Ⅱ ………………………………………………………… 259
保险博弈Ⅰ ………………………………………………………… 263
保险博弈Ⅱ ………………………………………………………… 264
多任务博弈Ⅰ ………………………………………………………… 271
多任务博弈Ⅱ ………………………………………………………… 274
生产博弈Ⅵ ………………………………………………………… 286
柠檬货Ⅰ ………………………………………………………… 293
柠檬货Ⅱ ………………………………………………………… 294
柠檬货Ⅲ ………………………………………………………… 296
柠檬货Ⅳ ………………………………………………………… 297
保险博弈Ⅲ ………………………………………………………… 299
巴杰特模型 ………………………………………………………… 304
凯尔模型 ………………………………………………………… 306
生产博弈Ⅶ ………………………………………………………… 312
生产博弈Ⅷ ………………………………………………………… 324
迈尔森交易博弈 ………………………………………………………… 336
销售员博弈 ………………………………………………………… 338
街灯博弈 ………………………………………………………… 343
范里安非线性定价博弈 ………………………………………………………… 346

采购Ⅰ …… 355
采购Ⅱ …… 358
采购Ⅲ …… 362
沉默权利博弈 …… 369
新股低价发行博弈 …… 393
有信号干扰的极限定价 …… 396
反信号传递 …… 400
分馅饼博弈 …… 414
不完全信息下单阶段讨价还价 …… 422
不完全信息下两阶段讨价还价 …… 424
双边交易Ⅰ …… 427
双边交易Ⅱ …… 428
双边交易Ⅲ …… 430
双边交易Ⅳ …… 435
十一十六拍卖 …… 447
连续估价拍卖 …… 448
美元拍卖 …… 463
正态分布的共同价值拍卖 …… 482
钱夹博弈 …… 487
艾奇沃斯悖论 …… 503
具有生产能力约束的伯特兰博弈 …… 506
霍特林价格博弈 …… 509
垂直差异化Ⅰ …… 524
垂直差异化Ⅱ …… 525
垂直差异化Ⅲ …… 526
耐用品垄断 …… 533
广告产生的异质伯特兰模型 …… 542
不对称的古诺双寡头垄断 …… 544

引　言

历　史

1 即使是在不久以前，好事者仍会将计量经济学与博弈论比作日本和阿根廷。在 20 世纪 40 年代晚期，这两门学科都有远大前程，而这两个国家也都充满了希望，准备高歌猛进，对世界产生深远的影响。日本与阿根廷的经济随后发生了什么已是众所周知。而对这两门学科来说，计量经济学成了经济学中必不可少的一部分，博弈论则萎缩为一门子学科。它只对博弈论专家来说乐趣无穷，却为整个经济学界所遗忘。这些博弈论专家一般都是数学家。他们更关注定义与证明，而非如何将这一方法应用于经济问题。他们为自己的理论能在众多学科中得以运用而备感自豪，但没有一门学科将博弈论作为自身不可分割的一部分。

但是到了 70 年代，再将博弈论比作阿根廷就不恰当了。正当阿根廷迎回其前独裁者胡安·庇隆（Juan Peron）之时，经济学家们开始研究将博弈论与复杂的经济问题结合起来可能会得到什么结果。理论与应用方面的创新对于分析非对称信息和动态行为尤为有用。在 80 年代，博弈论迅速成为主流经济学的重要组成部分。事实上，它几乎吞没了整个微观经济学，就如同计量经济学吞没了“经验经济学”（empirical economics）一样。

博弈论被普遍认为起步于冯·诺伊曼与摩根斯顿（von Neumann and Morgenstern）于 1944 年出版的名著《博弈理论与经济行为》（*The Theory of Games and Economic Behavior*）。尽管这一大部头著作中所讲的博弈论与

本书中所讲的关系不大，但是它的确引入了这一想法：可以对冲突进行数学分析。他们还提供了博弈与信息相应的术语。塔克（Tucker）发展了“囚徒困境”（Prisoners' Dilemma），纳什（Nash）发表了关于均衡的定义与存在性的文章（Nash，1950b，1951），这两项工作奠定了当代非合作博弈理论的基石。与此同时，合作博弈理论（cooperative game theory）也取得了丰硕成果，包括纳什（Nash，1950a）和夏普利（Shapley，1953b）关于“讨价还价博弈”（bargaining game）的文章以及吉利斯（Gillies，1953）和夏普利（Shapley，1953a）关于“核”（core）的文章。

到了 1953 年，所有将被经济学家们在此后 20 年中应用的博弈理论事实上都已被提出了。但直到 70 年代中期，博弈论还保持着独立领域的地位，与主流经济学关系不大。重要的例外是谢林（Schelling）1960 年的著作《冲突的战略》（*The Strategy of Conflict*），其中引入了“聚点”（focal point）的概念，并介绍了其他一系列的文章（其中，德布鲁和斯卡夫（Debreu and Scarf）1963 年的文章是典型代表），它们论述了博弈的核与经济的一般均衡（general equilibrium）的关系。 *2*

在 70 年代，当经济学家们开始将注意力集中于研究具有理性行为，但只拥有有限信息的个体时，信息就成了许多模型的焦点。当个体行为受到重视之后，他们采取行动的时间顺序也开始被明确地结合了进来。这一结合使得博弈开始具备足够的结构，从而可以得到有趣的且始料不及的结果。重要的“工具箱式”的文献包括早已问世但久未得以应用的泽尔腾（Selten，1965）关于完美性（perfectness）以及海萨尼（Harsanyi，1967）关于不完全信息（incomplete information）的文章，包括泽尔腾（Selten，1975）以及克雷普斯和威尔逊（Kreps & Wilson，1982b）对完美性加以扩展的文章，还包括克雷普斯、米尔格罗姆、罗伯茨和威尔逊（Kreps，Milgrom，Roberts & Wilson，1982）关于不完全信息重复博弈的文章。本书中绝大部分的应用都是 1975 年后发展起来的。当今研究的潮流正呈方兴未艾之势。

博弈论的方法

博弈论在近年的大获成功正是因为它与经济学的新方法论不谋而合。在过去，宏观经济学家通常从诸如消费函数等宽泛的行为关系着手，而微观经济学家常常由诸如销售额最大化等精确但非理性的行为假设开始。如今，所有的经济学家都从关于效用函数、生产函数以及模型中行为人的禀赋（必须包括他所能得到的信息）的一组最基本的假定出发。这样做的原因在于：较

之于评价关于个体行为的高阶层假设，对这些最基本的假设是否合理作出判断无疑要容易得多。在已经接受了这些最基本假设的基础上，建模者的意图就是指出，当行为人在信息、禀赋以及生产函数的约束下最大化其效用时会发生什么。这恰恰就是博弈论的研究范式：建模者对参与人（player）规定支付函数（payoff functions）和策略集（strategy sets），观察当参与人选择策略以最大化其收益时会产生什么结果。这种方法是下述二者相结合的产物：MIT 学派“约束下最大化”（Maximization Subject to Constraints）的方法和芝加哥学派“天下没有免费午餐”（No Free Lunch）的思想。然而，我们将会发现，博弈论仅仅依赖于二者的精神：它已脱离了微分最大化的传统，而无效率的资源配置是屡见不鲜的。参与人的行为是理性的，但其结果却往往出人意料。因此，当分析一个每个人都聪明能干，但总体结果却很难尽如人意的世界时，这套方法大有用武之地。

实例化理论

与推崇最基本假设和最大化行为的潮流同时兴起的还有对简洁的追求。在第一版中，我称之为“无脂建模”（no-fat modeling），但更贴切的叫法还是“实例化理论”（exemplifying theory，见 Fisher（1989））。其他的叫法还有“以例子建模”（modeling by example）、“MIT 风格的理论”（MIT-style theory），或者差不多是它的同义反复——“实例性理论”（exemplary theory）。这一方法的核心在于发现对于产生一个有趣结论所必不可少的最简单的假设——构造一个具有欲得结论的最明显、最直白的模型。这些欲得结论是某
3 些具体问题的答案，如受教育会不会仅仅是一个关于能力的信号？为什么叫价—还价存在？掠夺性定价是理性的吗？

建模者通常由一个模糊的想法起步，诸如“人们上大学是为了表明自己很聪明”。然后他就以一种简单的方式将这一想法正式地模型化。这一想法或许可以原封不动地保留下来，或许被发现毫无意义，或许只在一定条件下成立，或许其否命题被发现是正确的。建模者随后运用这一模型来提供更为精确的定理，而对这些定理的证明将使建模者对其想法有进一步的认识。在证明之后，他又回过头去思考，努力跳出证明从数学上来说是否正确，并试图对其进行更深入的理解。

任何优越的理论都采取了“奥卡姆的剃刀”（Occam's razor）的观念，删繁就简；还运用了“假定其他条件不变”的假设，从而每次都只将注意力集中于对一个问题的考察。“实例化理论”则更进一步，它只对问题提供一个相

对具体的回答。正如费希尔（Fisher）所言："实例化理论并不告诉我们什么是必将发生的，而只告诉我们什么是可以发生的。"

与之一脉相承的是我在芝加哥大学所体验的名为"没准是对的故事"（Stories That Might Be True）的风格。如果建模者并不过分的话，这不算是非建设性的批评，因为还有许许多多"不可能是对的故事"。将理论实例化的目的在于提供若干个故事，这些故事可被应用于特定的环境，并努力从中筛选出能提供最好解释的故事。在此，经济学将数学中的演绎论证与法学中的推理论证结合得天衣无缝。

一位评论家曾将在生物学中运用数学方法比作一个沙漏（Slatkin，1980）。最初引入的是一个宽泛且重要的问题。其后，这一问题被精炼为一个力图把握其精髓的模型。这一模型十分特别，但它确实易于把握。最后，也是整个过程中最惊险的一步，便是将结果扩展到应用于最初的问题。将理论实例化的过程与此一模一样。

整个过程便是建立一个"如果—那么"式的命题。这一命题既可以用语言叙述，也可以凭符号表达。如果要运用这样的命题，其逻辑前提和结论有必要经过或松或严的经验检验。如果必备的假设看起来有些不自然，或是假设和推论与现实相矛盾，则这一想法就应被放弃。如果"现实"不是一目了然的，而相关数据又是可以获得的，经济计量检验就应被用来帮助判断模型成立与否。对未来事件做预测是可以的，但这通常不应成为主要动因：我们中的大多数人的解释与理解能力远甚于我们的预测能力。

正如拉卡托斯（Lakatos，1976）所言，上述方法与发展数学定理的方法是极为相似的。人们通常认为研究人员是由假设起步，再去证实或证伪。但是上述方法与此形成了鲜明对比：恰恰相反，证明本身帮助我们发现应如何构造假设。

"实例化理论"中重要的一环便是克雷普斯和斯宾塞（Kreps & Spence，1984）所称的"黑箱化"（blackboxing）——以粗略的方式处理模型中不重要的子部分。"进入收购"（entry for buyout）博弈（Rasmusen，1988a）便是这样一个例子。它讨论一个新的进入者是否会被行业中的在位者收购，这取决于双头垄断定价（duopoly pricing）以及讨价还价。定价以及讨价还价本身是复杂的博弈问题，但是如果建模者不想将注意力分散于这些论题之上，他就可以径直运用这些博弈的简单古诺（Cournot）和纳什解，接下去再分析收
购。如果模型的重中之重在于双头垄断定价，那么使用古诺解便难免会受到 4
责难。但如果仅仅作为一个简化的而非主宰模型的假设，那么使用古诺解还是说得过去的。

尽管潮流是趋于简洁，但是为了更好地把握建模者的思想，一定程度的形式化和数学是必不可少的。“实例化理论”走了一条在数学的一般性与非数学的模糊性之间的中间道路。两条道路的鼓吹者都会宣称“实例化理论”过于狭隘，但是切莫忘记，当追求更为“丰富”、“复杂”或是“有感觉的”描述时，常常会使得故事要么过于支离破碎，要么过于晦涩难懂，从而很难应用于现实情况。

某些读者可能会认为实例化理论运用的数学手段过少，但其他人，尤其是经济学家以外的人，又会认为它用得太多了。至少从 19 世纪 80 年代开始，聪明的外行人就开始反对数学在经济学中的大量应用。乔治·萧伯纳（George Bernard Shaw）当时说，在他还是个孩子时，他就曾做过：（1）假定 $a=b$；（2）允许若干步代数运算；（3）发现自己已接受了 $1=2$ 的证明。此后，萧伯纳就对假设以及代数失去了信心。尽管努力趋于简洁（或者恰恰是因为这一点），数学对于实例化理论仍是必不可少的。结论可以被表述为文字，但如果只凭借文字推理的话，结论是绝对难以得到的。经济学家菲利普·威克斯第德（Philip Wicksteed）在他对萧伯纳批评的回应中将这一点表述得淋漓尽致：

> 萧伯纳先生得出了自以为是的结论，宣称“某处有缺陷”——当然不是指其自身的推理能力，而是指“在代数中”——并且随后就抛弃了数学推理而偏爱文字方法，认为前者会使一个聪明人由完全错误的论据出发得到同样荒谬的结论，而对其荒谬之处熟视无睹。而这恰恰是对政治经济学纯理论进行数学和文字处理的不同之处。

在对理论进行实例化时，人们仍然可以拼凑一个模型来获得五花八门的结果，但这必须通过作出怪异的基本假设来实现。任何对这一套把戏了然于胸的人都知道：应从模型设定之初的叙述中去找寻莫名其妙结论的根源。如果那一叙述是含糊其辞的，则读者可以推测：模型的奇怪结论是由潜藏于晦涩表述之下的错误假设引出的。因此明晰表述是十分重要的，本书中采用的略为粗糙的“参与人—博弈顺序—支付”的表述方式不仅有益于作者写作，而且有益于说服读者。

本书的风格

主旨与风格息息相关。一个好的模型与一个坏的模型的区别不仅在于是

否抓住了问题的要害，而且在于遮蔽在要害之上的泡沫有多少。在本书中，我已努力使得博弈尽可能简单。比方说，博弈中的每个参与人通常只是从两个行动中选择一个。对于此类模型，我们的直觉还大有用武之地。如果行动选择是连续的，则技术上就更为麻烦。对诸如零生产成本等其他假定的认识则有赖于训练得来的直觉。对于外行人来说，生产无成本这一假定似乎很强，但对于这些模型的少许经验就足以告诉我们：重要的是边际成本的不变性，而非边际成本的水平。

我们所理解的一个模型要说的东西甚至比它本身要说什么更为重要。一篇用梵文写就的文章对我来说是毫无用处的，而一篇过度数学化或文笔甚差的文章对我来说也一样，而不论在其作者看来它是多么的严密准确。这样的 5
一篇文章会带给我一些关于其主题的新观念，但这种观念既不鲜明，也不严密正确。在传递信息时的过度精确，恰恰会造成这一信息在被接受时的不精确，因为精确未必明晰。在数学上尝试着精确化，结果有时却使得读者看了不知所云。这就如同在一个案件的调查过程中，某人对一个简单问题提出质疑，却被对方抛出的 70 箱案卷弄得哭笑不得。作者的水准不仅应从某一抽象标准的角度来考察，而且应以读者的理解程度来评判。

本着这一精神，我已努力在尊重模型始创者的条件下简化模型的结构以及表达。但我仍然必须请求这些作者的谅解。他们的模型可能被过度简化或扭曲，或是被我在不经意间模仿了，却没有向他们致谢。为了便于理解，我在准确性上是冒了风险的。我希望与那种使得读者苦思自己理解上的错误的谨小慎微但含糊不清的风格相比，这样做留在读者心目中的印象要准确些。我的主要优点在于将很难的模型重组为简单的博弈，仍能抓住模型的实质。弱点是略去了某些技术方法，有重要的，也有不重要的。我事先为本书中出现的错误道歉，我确信书中一定有某些错误。但是我希望读者可能会惊异于本书不时以报纸和杂志上的文章为素材。我希望这些素材能提醒我们：模型最终将被运用于具体事实，数不胜数的有趣现象有待我们去分析。委托—代理问题（principal-agent problem）不只见于《计量经济学》杂志（*Econometrica*）的封面文章，如果你知道如何寻找的话，你也能在《华尔街日报》的第一版发现它。

我会不时开些小玩笑，而博弈论从本质上来说是充满了悖论与惊奇的。但我想强调的是，我对待博弈论的态度是严肃的，正如芝加哥学派的经济学家严肃地对待价格理论一样。这不仅仅是博弈与信息学术形式的问题：人们在选择行动时的确是经过深思熟虑的，并对一件商品与其他商品细作权衡。博弈由此将帮助你理解他们怎样去选择。如果事实并非如此，我不会建议你

去追究一个如此困难的问题。事实上，我认为每个受过教育的人都应对本书的思想有所了解。这一点是很重要的，正如他们对价格理论的基本原理应略知一二一样。

我在运用定义时不得不比我曾设想的谨慎得多。许多概念是在文献中篇篇相传的基础上定义的，既无一致性，又缺乏有用性和朗朗上口之感。其余一些定义，诸如“不对称信息”和“不完全信息”，则被认为是如此基本，以至于不需要定义，从而被以相互抵触的方式使用着。我尽可能使用既存的术语，同时也列出它们的同义语。

我常常将参与人取名为史密斯和琼斯而非 1 或 2，以便读者记住哪个是指参与人，哪个是指时期。我也希望强化这一观念：模型是一个构造严谨的故事。我们由史密斯和琼斯起步，即使我们很快就抽象为 S 和 J。记住这一点，建模者就不大可能构造出数学上正确但行动集（action sets）荒谬的模型来，从而他的叙述看起来也就更令人愉快。基于同样的原因，将一条曲线标为
6 “$U=83$”并不失一般性；“$U=83$ 和 $U=66$”的表述与“$U=\alpha$ 和 $U=\beta$，$\alpha>\beta$”事实上含义相同，却更便于记忆。

本书的一个风险在于，读者也许不会注意到其中一些材料的复杂性。学术期刊上的文章常常把这些材料变得看起来比实际上难，而本书这样做却使得它看似容易（即使你发觉本书很难，这个判断也是对的）。作者做得越出色，这一问题就变得越严重。凯恩斯曾如此评价阿尔弗雷德·马歇尔（Alfred Marshall）的《经济学原理》：

> （它）缺乏重点、明确的好恶评判的边缘、棱角以及凸凹之处，甚至其最具独创性的发现也显得平淡无奇，这一切都使得读者阅读起来过于容易。就像一只鸭子入水片刻即离水一样，读者因为没有被足够感染，就不会有观念的醍醐灌顶之感。困难都被隐藏起来了，最棘手的问题都被放到脚注中处理；意味深长且具原创性的论断也看似老生常谈。（Keynes，1933，p. 212）

本书似乎也会受到同样的批评，但我已竭力直面难点。每章章末的习题使得读者的进度不至于太快。然而，从本书中只能获得一定程度的理解。学会如何做研究的有效方法是开始去做，而非读别人所写的如何去做。在阅读完本书之后，许多读者会跃跃欲试，力图建立自己的模型。本书的目的便是向他们展示全景，帮助他们在直觉上理解模型，并给予他们对于建模过程的感觉。

注

- 冯·诺伊曼和摩根斯顿（von Neumann & Morgenstern，1944）的最重要的贡献也许就在于期望效用理论（the theory of expected utility）。虽然他们只是为了找出博弈的均衡而发展了这一理论，然而如今这一理论却在经济学的所有分支中得到了广泛运用。在博弈论方面，他们发展了一个描述博弈的框架并提出了混合策略的概念（见 3.1 节）。一个好的关于博弈论历史的讨论可参见 Shubik（1992）。
- 近年来出现了许多关于博弈论历史的好书。诺曼·麦克雷（Norman MacRae）的《约翰·冯·诺伊曼》（*John von Neumann*）和西尔维娅·纳塞尔（Sylvia Nasar）的《美丽心灵》（*A Beautiful Mind*）（关于约翰· 纳什），是关于奠基人的好的传记。而迈克尔·森伯格（Michael Szenberg）编著的《杰出经济学家：他们的生活哲学》（*Eminent Economists: Their Life Philosophies*）和《激情与艺术：工作中的经济学家》（*Passion and Craft: Economists at Work*），罗伊·温特劳布（Roy Weintraub）编著的《有关博弈论的历史》（*Toward a History of Game Theory*），包含了许多博弈论学者的生平传记，包括舒比克、赖克（Riker）、迪克西特（Dixit）、范里安（Varian）、迈尔森。戴曼德和戴曼德（Dimand & Dimand）的《博弈论历史》（*A History of Game Theory*），第一卷于 1996 年出版，更强地回顾了这一领域的历史，也可参见 Myerson（1999）。
- 关于数理经济学的历史的文章，可参见鲍莫尔和戈德费尔德（Baumol & Goldfeld，1968）的论文集；戴曼德和戴曼德 1997 年出版的《博弈论基础》（*The Foundations of Game Theory*），共三卷；以及 Kahn（1997）。更近期的论文集包括 Rasmusen（2001），Binmore & Dasgupta（1986），Diamond & Rothschild（1978）（关于信息经济学），Klemperer（2000）（关于拍卖）以及 Rubinstein（1990）。
- 关于方法，可参见拉卡托斯（Lakatos，1976）的叙述，Davos & Hersh（1981）的第 6 章是关于同一问题的较短叙述。弗里德曼（Friedman，1953）的文章是一篇关于另一种不同方法论的经典文献：用检验其预测来评价一个模型。克雷普斯和斯宾塞（Kreps & Spence，1984）的文章是一篇关于实例化理论的讨论。
- 数学家罗伯特·J·克莱因海兹（Robert J. Kleinhenz）提出的一个关于

证明定理的著名论述是："人们看到山峰后想尽力爬到山顶。先建一个营地，然后开始艰难跋涉，在每一个转弯处都会遇到阻碍，每一步经常重复很多次，登山途中充满艰辛。终于抵达山顶，站在上面环顾四周，却发现在山的另一侧有通向山顶的公路！"（见 http://users.characterlink.net/The-Cookie-Jar/math_jokes_10.html。）

在拉卡托斯的精神中，我不同意的是，通常在半途中你发现对山顶的想象是个幻觉，或山峰实际低于想象，然后就半途而废了。

- 因为本质与风格的关系如此密切，所以如何写作是至关重要的。辅助写作的书目有：McCloskey（1985，1987）（关于经济学），Bowersock（1985）（关于脚注），Flower（1965），Flower & Flower（1949），Halmos（1970）（关于数学写作），Strunk & White（1959），Weiner（1984）和 Wydick（1978）。
- 一个关于 1=2 的欺骗性证明如下。令 $a=b$，那么有 $ab=b^2$ 和$ab-b^2=a^2-b^2$。对后一式子进行因式分解，可得 $b(a-b)=(a+b)(a-b)$，化简为 $b=a+b$。此时由我们的初始假定可得 $b=2b$，即有 1=2（其谬误在于被零除）。

第一部分　博弈论

第1章 博弈的规则

1.1 基本定义

11 博弈论关注的是意识到其行动将相互影响的决策者的行为。当一个城市中仅有的两家报社为其报纸定价时，它们会意识到自己的销量既受对方影响，又同时影响对方。此时，它们便成为一个博弈的参与人。它们不是在与购买其报纸的读者进行一场博弈，因为每一位读者都不会考虑自己对报社的影响。对于制定决策时不考虑别人的反应，或是将其视为非人格化的市场力量的场合，博弈论是无用武之地的。

要理解何种情形适宜用博弈来模型化，最好的办法莫过于考虑下列例子：

（1）石油输出国组织（OPEC）成员国选择其年产量。

（2）通用汽车公司（General Motors）向美国钢铁公司（U. S. Steel）购买钢材。

（3）两家制造商，一家是做螺钉的，一家是做螺帽的，决定是用公制还是美制标准。

（4）公司董事会为其CEO制定一个股票期权计划。

（5）美国空军招募喷气式战斗机驾驶员。

（6）一家电力公司在估计了未来10年对电力的需求后，决定是否购置一套新的发电机组。

前四个例子是博弈。在（1）中，OPEC成员国在进行一场博弈。其原因在于，沙特阿拉伯知道科威特是在对自己的石油产量进行了预测之后才决定

其自身的产量的，而且两国的产量都会影响世界油价。在（2）中，通用汽车公司和美国钢铁公司之间的钢材交易量占全美钢材交易的很大份额。而且，双方都意识到自己的需求量（或产量）已大到足以影响价格。前者希望价格越低越好，后者则盼着价格越高越好。因此，这便是一个建立在两个参与人冲突之上的博弈。在（3）中，螺钉与螺帽制造商间并无冲突，但一方采取的行动的的确确影响到了另一方拟采取的行动，故而这种情形仍然属于博弈。在（4）中，董事会作出制定股票期权计划的决定时，也预见到了这项计划对于 CEO 行为的影响。

将最后两个例子模型化，是博弈论力所不能及的。在（5）中，每个飞行员对美国空军的影响都是微乎其微的。因此，当每个飞行员决定是否去应聘时，都不会将自己对空军政策的影响纳入考虑之中。在（6）中，电力公司面临的决策是错综复杂的，但这种复杂性并非来自另一个理性的主体。这些情形更适合应用**决策理论**（decision theory）而不是博弈论。决策理论着重于分析当个体面临不确定性时将如何作出决策，或者如何给出一个完整的彼此相互影响的决策体系，但是该个体并不受其他决策个体所作出的战略选择的影响。重要经济变量的变化可将（5）和（6）转化为博弈。这种适当的模型变化包括：美国空军面对的是一个飞行员工会；电力公司受到来自公用事业委员会的压力，要求其改变生产能力。 12

本书呈现给你的博弈论将是一种模型化工具，而非一套公理化体系。这一章的表述方式与众不同。我们将从一种可以被模型化的情形开始，一步一步地从中建立一个博弈，而非由数学定义或是简单的小博弈起步。

描述一个博弈

一个博弈中基本的要素包括：**参与人**（players）、**行动**（actions）、**支付**（payoffs）和**信息**（information）——简写为 PAPI。参与人、行动、支付和信息合起来称为**博弈规则**（rules of the game），建模者的目的即在于根据博弈规则描述一种情形，以便可以解释在此情形下将要发生什么。参与人则依据每个时段得到的信息，作出计划也就是**策略**（strategies），并选择行动试图最大化自己的支付。每一个参与人选择的策略组合在一起称为**均衡**（equilibrium）。给出一个均衡，建模者就能够看出来自所有参与人的计划组合的各种行动，这也就给出了博弈的结果（outcome）。

这种标准的描述对建模者和他的读者来讲都是有利的。对建模者而言，这些术语大有裨益，因为它们有助于保证博弈中重要的细节已被详尽说明而没有被遗漏。对读者而言，它们可以使得博弈更容易理解，特别是对那些颇

具技巧性的文章，读者可以快速浏览，看其是否有可读价值。因此，作者的写作风格越是不明晰，就越应该坚持用规范的术语，也就是说，我们大多数人都应当规范用语。

如果将写文章看成是作者和读者之间进行的博弈，而不单纯是一个参与人的生产过程，那么对作者来讲，他知道自己拥有有价值的信息，但是在试图将此信息传递给读者时，他的交流方式却不够完善；而对读者来讲，他不知道该信息是否有价值，因此他必须对是否认真读此文章来发现其价值作出选择。[1]

我们用下面的例子来解释上面提到的术语并说明博弈论和决策理论的区别。假设一个业主面临的问题是，要决定是否在城市中开一家干洗店，而这个城市现在已有一家干洗店。我们将这两个店分别称为“新干洗店”和“旧干洗店”。新干洗店不确定将来的经济是否景气，这将影响顾客在干洗方面的消费，同时新店也会考虑旧干洗店对它的进入是采取价格战还是依旧保持它最初的高价位。旧干洗店运营良好，它能够经得起价格战，但是它的利润将
13 在价格战中有所下降。新店必须决定是发起价格战还是维持高价位，同时对于购买何种设备、雇用多少工人等问题，它也要作出决策。

参与人是指作决策的个体。每个参与人的目标都是通过选择行为来最大化自身的效用。

在干洗店博弈中，我们将参与人设定为新干洗店和旧干洗店。诸如消费者等被动的个体不是参与人，而只是环境参数，因为他们对价格变化的反应是可以预见的，而且不会去试图改变任何人的行为。建模的目的是简便，因此理想的状态是，将参与人的数目降到最少，并且能够如实地反映本质情况。

有时，模型可以明确地引入被称为**虚拟参与人**（pseudo-players）的个体，它们以一种纯机械的方式来采取行动。

自然（nature）是一种虚拟参与人，它在博弈的特定时点上以特定的概率随机选择行动。

在干洗店博弈中，我们假定由自然决定经济景气还是不景气，出现前者的概率为0.7，出现后者的概率为0.3。因此，即使参与人总是以不变应万变，自然的随机变动也意味着模型预料的结果不止一个。我们称，根据随机行动的结果，博弈有不同的**真实值**（realizations）。

参与人 i 的行动或活动以 a_i 表示，是他所能作的某一选择。

参与人 i 的**行动集**（action set），$A_i=\{a_i\}$，是其可以采用的全部行动的集合。

一个行动组合（action profile）$a=\{a_i\}$（$i=1, \cdots, n$），是一个由博弈中的 n 个参与人每人选取一个行动所组成的有序集。

在此重申，我们的目的是简便。当我们试图决定一个新干洗店是否进入市场时，干洗设备的技术性和劳动力的熟练程度不是我们考虑的重点。而且，新干洗店对发动价格战也不感兴趣，因为这样做不可能将旧店驱逐出市场，因此我们建模时不考虑这种策略。新干洗店的行动集可以简单地表述为{进入，不进入}，同时我们也可以得到旧干洗店的行动集，即旧店从行动集{高，低}中选择价格的高低。

我们用参与人 i 的**支付**（payoff）$\pi_i(s_1, \cdots, s_n)$ 来表达这样的意思：

（1）在所有的参与人和自然都选择了各自策略且博弈已经完成之后，参与人 i 获得的效用。

（2）参与人 i 获得的期望效用，该期望效用是参与人 i 以及其他参与人所选择的策略的函数。

目前考虑的“策略”是“行动”的同义词。定义（1）与定义（2）是有所不同的，但在文献和本书中，“支付”既被用于指实际支付，也被用于指期望支付。它到底指什么，可以根据上下文来判断。

如果是对一个特殊的现实情况建模，那么计算支付常常是建模最艰巨的部分。对这两个干洗店来说，如果经济处于正常状态，假定我们通过所有数据可以计算出支付，由表 1—1（a）（正常经济状况）给出。如果经济处于不

表 1—1 干洗店博弈 14

（a）正常经济状况

		旧干洗店	
		低价格	高价格
新干洗店	进入	−100，−50	100，100
	不进入	0，50	0，300

（b）经济不景气状况

		旧干洗店	
		低价格	高价格
新干洗店	进入	−160，−110	40，40
	不进入	0，−10	0，240

支付：（新干洗店，旧干洗店），单位为千美元。

景气状态，则市场中每个参与人的支付将下降 60 000 美元，如表 1—1（b）（经济不景气状况）所示。

信息是以**信息集**（information set）的概念来模型化的，这一概念将在 2.2 节中给出准确定义。就目前而言，不妨将参与人的信息集看做他在特定时点对于不同变量的取值的了解。信息集的要素包括参与人认为可能的不同值。若信息集有很多元素的话，则表明存在参与人无法排除的许多取值。若它只有一个元素，则表明他准确地知道变量的取值。一个参与人的信息集不仅包括石油需求量强度等变量取值的差别，还包括对已采取过什么行动的了解。因此，参与人的信息集是随着博弈的进程而变化的。

此处，当选择自身定价时，旧干洗店将知道新干洗店进入的决定。但是对于经济处于不景气状态两个店会知道什么信息呢？如果两个店都知道经济不景气，我们建模时让自然的行动先于新干洗店的选择；如果仅是旧干洗店知道经济不景气，则让自然的行动后于新店的选择；如果两店在它们决策时都不知道经济景气与否，那么我们将自然的行动放在博弈的最后。让我们最后来处理这个问题。

在博弈顺序（order of play）中我们可以很方便地列出信息和行动集。干洗店问题的博弈顺序可以表示如下：

1. 新干洗店在集合｛进入，不进入｝中选择进入策略。
2. 旧干洗店从集合｛低，高｝中选择它的价格。
3. 自然作出选择，以概率 0.3 选择不景气，以概率 0.7 选择经济正常。

建模的目的是解释对于一个给定的环境，如何得到一种特定的结果，我们感兴趣的正是这个结果。

15 *一个博弈的**结果**（outcome）是指在博弈结束之后，建模者从行动、支付和其他变量的取值中挑选出来的他所感兴趣的要素的集合。*

对任一特定的博弈模型而言，结果的定义都取决于建模者所感兴趣的到底是什么。对于干洗店博弈结果的一种定义方式是进入或不进入，如果模型的建立是为了有助于推导新干洗店的收益，即新干洗店所能认识到的支付，这也是一种合适的定义方式。由表 1—1（a）和（b）可知，这是集合｛0，100，－100，40，－160｝中的某一个元素。

在列出模型的假设条件之后，让我们回到博弈论是如何对一个情形进行具体建模的问题上来。决策理论中游戏规则的建立在很大程度上与博弈论是相同的，但是两者有一个重要的、根本性的不同之处在于，决策理论中研究的对象只有一个参与人。对于新干洗店决定进入的问题，在决策理论中标准

的方法是根据博弈规则来建立**决策树**（decision tree），这种方法只是通过图解的方式来描述博弈顺序。

图1—1给出了干洗店博弈的决策树。它列举了新干洗店的所有可能的行动、自然状态的概率（新干洗店所不能控制的行动）、新干洗店依据其作出的选择以及环境状况所得到的支付。注意，虽然我们将自然处于正常状态的概率定为0.7，我们也需要具体给出旧干洗店的行动概率，即处于低价格和高价格的概率均为0.5。

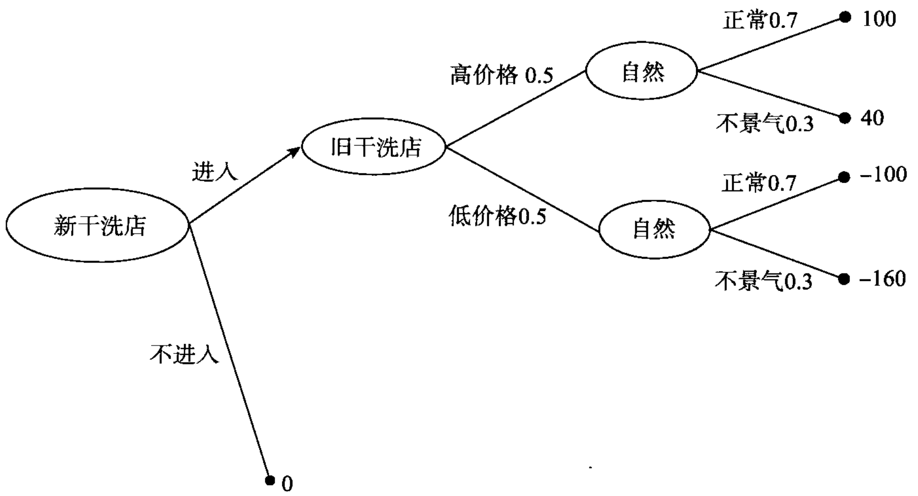


图1—1　干洗店博弈的决策树

一旦决策树已经确立，我们就能够得到最大化期望支付的最优决策。假设新干洗店已近进入，如果旧干洗店选择高价格，那么新干洗店的期望支付是82，即由0.7×100+0.3×40得到。如果旧干洗店选择低价格，那么新干洗店的期望支付是−118，即由0.7×(−100)+0.3×(−160)得到。由于旧干洗店采取每一个行动的可能性都是50%，因此新干洗店由进入所得到的全部期望是−18。这比新干洗店选择不进入所得到的零支付要差，所以新干洗店将会选择不进入。

然而这是错误的。这是一个博弈，而不仅仅是一个决策问题。推论Ⅰ的缺陷在于假定旧干洗店选择高价格的概率是0.5。如果我们利用旧干洗店支付的信息找出旧干洗店在寻求自身利益最大化问题上将采取什么样的行动，那么我们将得到一个不同的结果。 16

首先，让我们利用**博弈树**（game tree）而非决策树来描述博弈行动的顺序。图1—2用博弈树的形式描述了我们的模型，并给出了旧干洗店的所有行

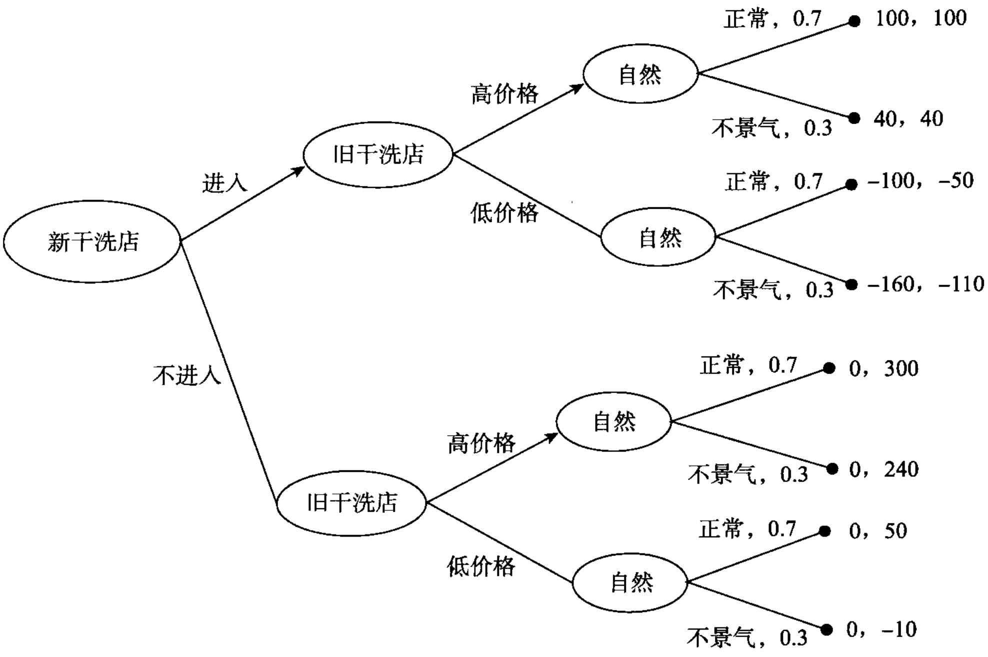


图 1—2　干洗店博弈的博弈树

动和支付。

将这种状况视为一个博弈，我们必须对两个参与人的决策制定问题都给予考虑。假设新干洗店已经进入，如果旧干洗店选择高价格，旧干洗店的期望利润是 82，这由 0.7×100＋0.3×40 得出。如果旧干洗店选择低价格，旧干洗店的期望利润则是－68，可由 0.7×(－50)＋0.3×(－110) 得到。因此，旧干洗店将以概率 1 而不是 0.5 来选择高价格。博弈树中高价格的箭头表明了我们推理的结果。反过来，这意味着新干洗店能够预料到通过进入可以得到的期望支付为 82，即 0.7×100＋0.3×40。

假设新干洗店没有进入。如果旧干洗店选择高价格，旧干洗店的期望利润是 282，即 0.7×300＋0.3×240。如果旧干洗店选择低价格，旧干洗店的期望收益则是 32，即 0.7×(－50)＋0.3×(－10)。这样，如博弈树中高价格上的箭头所示，旧干洗店将选择高价格。如果新干洗店选择不进入，新干洗店将得到的支付为 0，这显然比新干洗店选择进入所能预计得到的支付 82 少，因此，新干洗店实际上将选择进入市场。

这种由一个决策者的视角到另一个决策者视角的转换是博弈论的一个特
17 点。博弈论专家必须将其自身放在每个决策者的位置上来考虑问题。（这意味着我们变成了和善文雅之人吗？或我们仅是机警狡猾之人呢？）

既然博弈的结果很大程度上依赖于不同参与人之间的计划和预测，那么考虑除博弈中简单的行动之外的东西是很有必要的。因此，建模者将进一步考虑策略问题，它是行动计划的组合。

参与人 i 的**策略**（strategy）s_i 是如下一项规则：给定其信息集，该策略决定在博弈的每一个时点他选择何种行动。

参与人 i 的**策略集**（strategy set）或**策略空间**（strategy space）$S_i = \{s_i\}$ 是其可行策略的集合。

策略组合（strategy profile）$s = (s_1, \cdots, s_n)$ 是由博弈的 n 个参与人每人选择一个策略所组成的一个有序集。[2]

既然信息集包括了参与人对于其他参与人过去行动所知道的一切，那么策略就使参与人明确了如何对别人的行动作出反应。在干洗店博弈中，新干洗店的策略集就是{进入，不进入}，由于新干洗店首先行动，不会对任何新信息起作用。因此，旧干洗店的策略集如下：

$$\left\{\begin{array}{l}\text{如果新干洗店进入则高价，如果新干洗店不进入则低价}\\ \text{如果新干洗店进入则低价，如果新干洗店不进入则高价}\\ \text{不论什么情况都高价}\\ \text{不论什么情况都低价}\end{array}\right\}$$

策略的概念是十分有用的，因为参与人希望采取的行动经常依赖于自然和其他参与人过去所采取的行动。我们只有在极少的时候才能无条件地预测参与人的行动，但通常我们能够预测参与人应对外部世界的策略。

牢记参与人的策略是一个关于其行动程序的完备集合（complete set），它告诉参与人在每一种可预见的情况下选择什么行动，即使参与人并不预期那种情况真的会出现。严格地讲，即使参与人的策略告诉他在 1989 年应自杀，这一策略同时也应该说明如果他在 1990 年仍活着，应采取什么行动。在第 4 章对子博弈完美均衡（subgame perfect equilibrium）的讨论中，这种小心区分是至关重要的。这一描述的完备性也意味着策略和均衡与行动的不同之处在于它是不可观测的。行动是物质上的，但策略仅仅是意识上的。

均　衡

为预测一个博弈的结果，建模者应该加倍关注可能的策略组合，因为正是不同参与人的策略之间的相互作用决定了什么情况将会发生。策略组合与结果之间的差别是导致混淆的常见原因。策略组合是一组策略的集合，而结果指的是感兴趣的一组变量的取值集合。不同的策略组合有时会导致相同的结果。在干洗店博弈中，新干洗店进入的这一单纯的结果可以由下面任一策 18

略组合产生：

$\left\{\begin{array}{l}\text{如果新干洗店进入则高价，如果新干洗店不进入则低价}\\\text{进入}\end{array}\right\}$

$\left\{\begin{array}{l}\text{如果新干洗店进入则低价，如果新干洗店不进入则高价}\\\text{进入}\end{array}\right\}$

预测一下，参与人应如何最理性地选择一个或多个策略组合以最大化他们的支付。

均衡 $s^*=(s_1^*, \cdots, s_n^*)$ 是指由博弈中的 n 个参与人每人选取的最佳策略所组成的一个策略组合。

均衡策略（equilibrium strategies）是指参与人在最大化各自支付时所选取的策略。这一点与每个参与人随便选取一个策略所形成的许多可能的策略组合是不同的。博弈论中所理解的均衡与在经济学的其他领域中所理解的均衡不同。例如在一般均衡模型中，均衡是指由经济中每个人的最优行为所导致的一组价格。但在博弈论中，这样的一组价格被称为**均衡结果**（equilibrium outcome)，而均衡指的则是产生这一结果的策略组合，即每个人如何买卖的规则。

人们经常漫不经心地说"均衡"，其实指的是"均衡结果"；有时又说"策略"，其实指的是"行动"。在本章中所出现的博弈里，这一区别还不是十分重要，但若想像博弈论专家那样思考的话，意识到这一区别是绝对必要的。设想一下德国在 1936 年决定是否要对莱茵省再度军事化时的情形吧！当时，法国采取的策略是：不动武。而德国则报以：再度军事化。由此，埋下了第二次世界大战在几年后爆发的祸根。如果法国当时采取了这样的策略：如果德国不再度军事化，则不动武；否则，动武。那么，法国的行动仍然会是不动武，但德国就不会对莱茵省再度军事化了。这也许是因为德国会据此认为约翰·冯·诺伊曼是一个冷战中的鹰派（正如麦克雷在其 1992 年所写的冯·诺伊曼的传记中所描述的)。在行动与策略、结果与均衡之间是存在严格区别的。这一区别是教授博弈论时最大的难点之一，尽管它说起来显得微不足道。

仅仅规定参与人、策略与支付还不足以找到均衡，因为建模者还必须决定"最优策略"到底代表什么意思。这一点是通过定义一个均衡概念来实现的。

均衡概念（equilibrium concept）或**解的概念**（solution concept）$F:\{S_1, \cdots, S_n, \pi_1, \cdots, \pi_n\}\rightarrow s^*$ 是一个定义基于可能策略组合与支付函数之上的均衡的规则。

在上述分析中，我们已经隐含地使用了均衡概念，即为两个参与人选取

一个策略作为我们对博弈的预测（我们隐含地用到的**子博弈完美**（subgame perfectness）概念将在第4章中再次出现）。只有几种均衡概念是被普遍接受的。本章的剩余部分将致力于用两个最广为人知的概念——优势策略均衡 19
（dominant strategy）和纳什均衡（Nash equilibrium）——来找到均衡。

唯一性

公认的均衡概念并不能保证解的唯一性，而缺乏唯一解恰恰是博弈论的主要问题。我们所使用的均衡概念常常会使我们确信：参与人将会从A或B这两个策略组合中选一个，而不会选C或D。但我们往往说不出到底是A还是B可能性更大一些。有时我们还会遇到相反的问题：博弈根本就没有均衡。没有均衡要么意味着建模者找不到一个策略组合较之另一个策略组合可能性更大的理由，要么意味着某一参与人想将他的一个行动选定为一个无限值。

无均衡或存在多重均衡的建模是设定不足（underspecified）的模型，即建模者未能对将要发生什么作出全面、准确的预测。此时，一条出路是坦率地承认理论本身有失完美。这样做并非什么丢脸的事情，如承认5.2节中的无名氏定理有失完美就是一个有用的负面结果。另一个可能是，试图模型化的情况真的是不可预测的。还有一个方法就是改变努力的方式：要么改变对博弈的描述，要么改变均衡概念。较为可取的是改变对博弈的描述。因为经济学家们在考虑模型的区别时，看的是博弈的规则，而不是均衡概念。若博弈的要害实际上隐藏于均衡的定义之中，则读者会觉得受到了愚弄，进而怀疑建模者的诚实。

1.2 劣策略和优势策略：囚徒困境

在讨论均衡概念时，对“所有其他参与人的策略”规定一个速记符号是有用的。

对任一向量 $y=(y_1, \cdots, y_n)$，将向量 $(y_1, \cdots, y_{i-1}, y_{i+1}, \cdots, y_n)$ 记作 y_{-i}，即 y 中与参与人 i 无关的部分。

例如，在运用 s_{-Smith} 这一记号时，我们指的是除参与人史密斯外所有其他参与人的策略组合。这一组合对史密斯来说是颇有意义的，因为他正是参照它来选择他自己的策略，且新的记法也有助于定义他的最优反应。

参与人 i 对于其他参与人所选择的策略 s_{-i} 的**最优反应**（best response）或**最佳回复**（best reply）是使其获得最大支付的策略 s_i^*，即

$$\pi_i(s_i^*, s_{-i}) \geq \pi_i(s_i', s_{-i}), \quad \forall s_i' \neq s_i^* \tag{1.1}$$

如果没有其他策略是同样好的，那么这一最优反应就是强最优的，否则是弱最优的。

20 第一个重要的均衡概念是基于**优势**（dominance）的思想。

策略 s_i^d 是**劣策略**（dominated），如果无论其他参与人选择什么策略，策略 s_i^d 都严格小于其他策略。从这个意义上讲，无论其他参与人选择什么策略，他的支付在 s_i^d 下都是最小的。数学上，s_i^d 是劣势的，如果存在一个策略 s_i'，使得

$$\pi_i(s_i^d, s_{-i}) < \pi_i(s_i', s_{-i}), \quad \forall s_{-i} \tag{1.2}$$

注意，如果没有 s_{-i}，满足 s_i^d 是它的最优反应，那么 s_i^d 将不是劣策略，但有时 s_i'或 s_i''会是较好的策略。在那种情形下，对于无法预知其他参与人将要采取何种行动的参与人来说，策略 s_i^d 是一个具有补偿特征的、好的折中策略。一个劣策略劣于其他某些单一策略，这一点是十分明确的。

在通常情况下，对于比劣策略好的策略是没有具体称谓的。然而，在一些特殊的博弈中，如果某些策略比其他任何策略都好，我们称之为“优势策略”。

如果无论其他参与人选择什么策略，策略 s_i^* 都是参与人 i 的严格最优反应，那么 s_i^* 就称为**优势策略**（dominant strategy）。这意味着无论别人选择什么策略，s_i^* 都使参与人 i 的支付最大化。从数学上讲，就是

$$\pi_i(s_i^*, s_{-i}) > \pi_i(s_i', s_{-i}), \quad \forall s_{-i}, \forall s_i' \neq s_i^* \tag{1.3}$$

优势策略均衡（dominant-strategy equilibrium）是由每个参与人的优势策略所组成的策略组合。

一个参与人的优势策略是他相对于其他参与人行动的最优反应，即使其他参与人选择的是野蛮的、非理性的行动。大多数博弈都没有优势策略，参与人必须试图历数每个参与人可能的行动，以便确定他们自己的行动。

我们在干洗店博弈的规则中加入了相当的复杂性，以说明信息集和行动的时间顺序等概念。为了说明均衡的概念，我们以囚徒困境等较简单的博弈为例。在囚徒困境中，两个囚犯，行先生和列先生，正被隔离审讯。若两人都坦白，则每人判入狱 8 年；若两人都抵赖，则每人判入狱 1 年。[3]若只有一个人坦白，则他被释放，但另一个囚犯则被判 10 年。囚徒困境是一个 **2×2 博弈**（2-by-2 game）的例子，因为两个参与人——行和列——在其行动集中都只有两个可能行动——坦白和抵赖。表 1—2 给出了支付。

表 1—2　　　　　　　　囚徒困境

		列：抵赖		列：坦白
行	抵赖	−1，−1	→	−10，0
		↓		↓
	坦白	0，−10	→	**−8，−8**

支付：（行，列）。

每一参与人都有一个优势策略。以行先生为例，他并不知道列先生选择的是什么行动。但是，若列选择了抵赖，则行面对的抉择是：抵赖，支付为−1；或坦白，支付为0。而若列选择了坦白，则行面对的抉择是：抵赖，支付为−10；或坦白，支付为−8。在上述两种情况下，行在选择坦白时都会好一些。由于这一博弈是对称的，所以列面临的激励是相同的。因此，优势策略均衡为（坦白，坦白），支付为（−8，−8）。这一结果对于两个参与人来 21
说都劣于（−1，−1）。事实上，16是两人入狱时间之和的可能值中的最大者。

这一结果比初看起来更有力。因为即使在模型作了重大变化之后，它仍然成立。由于均衡是优势策略均衡，故而博弈的信息结构无关紧要。即使允许列在采取行动前了解到行的选择，均衡仍然不会改变。行仍旧选择坦白，因为他知道列随后一定会选择坦白。

在许多不同的情况中，我们都能发现囚徒困境的影子，包括寡头定价、拍卖出价、推销员的努力、政治上的讨价还价和军事竞赛等。一旦你观察到在冲突中两败俱伤的情况时，你的第一想法就应是囚徒困境。

对于许多从未接触过博弈的人来说，囚徒困境看起来既荒谬又不现实（虽然我的检察官朋友们向我担保说这是对付犯罪的标准工具之一）。如果在你看来结果是不正确的，你应该意识到，模型的主要用处通常就是引致困惑。困惑是你的模型与你的设想有所不同的标志——你遗漏了对于你所期望但却并未得到的结果来说必不可少的东西。此时，要么是你最初的想法有问题，要么是你的模型有错误。发现这类错误便是建模过程中的收获。这种收获虽然略带痛苦，但却是真实的。拒绝接受出乎意料的结论就是拒绝逻辑。

合作与非合作博弈

如果这两个囚犯可以在作决定前通气，那么结果会有所不同吗？这取决于承诺的可信度。若承诺是无约束力的，则即使这两个囚犯最初同意抵赖，但到了选择行动时，他们仍然会坦白。

若参与人能够达成有约束力的协议，则该博弈称为**合作博弈**（cooperative game）。**非合作博弈**（noncooperative game）与此相反，因为在非合作博弈中达不成此种协议。

这一定义抓住了这两种博弈理论间的通常区别，但其实质不同还在于建模的途径不同。这两种理论都由博弈的规则起步，但它们的区别在于使用的解的概念不同。合作博弈理论是公理性的，常常诉诸帕累托最优[4]、公平与公正等。非合作博弈具有更多经济上的特点，其均衡概念建立在参与人在给
22 定约束的条件下最大化其自身效用函数的基础上。或者，从另一个角度来看，合作博弈是一个简化形式的理论，它关注的是结果的性质而不是产生结果的策略，如果建模过程非常复杂，那么采用这种方法是适当的。除了在第 12 章对纳什均衡解的讨论以外，本书将只讨论非合作博弈。（有的观点认为合作博弈比我想象的更加重要，见 Aumann（1997）。）

在应用经济学中，合作博弈最普遍的用处就是将谈判模型化。囚徒困境属于非合作博弈，但它可以被模型化为合作博弈。为了实现这一点，我们不仅要允许两个参与人进行交流，而且要使他们达成有约束力的协议。合作博弈常常允许参与人分享合作带来的好处。而这是通过**附加支付**（side-payments）——改变参与人之间既定支付的转移支付——来实现的。合作博弈理论一般通过均衡概念引入承诺行动和附加支付，这会变得十分复杂。而非合作博弈理论通过添加额外行动就可以实现这一点。合作与非合作博弈理论间的区别并不在于是否存在冲突，正如下述例子所表述的：

无冲突的合作博弈：工人们在几项同样棘手的任务中选择一项，以便最好地相互协作。

有冲突的合作博弈：在垄断卖方和垄断买方间的价格谈判。

有冲突的非合作博弈：囚徒困境。

无冲突的非合作博弈：两家公司在不通气的情况下制定产品标准。

1.3 重复剔除优势：俾斯麦海之战

只有极少的博弈有优势策略均衡，但有时优势的思想仍然是有用的，即使此时它并不像在囚徒困境中那样干脆利索地解决一个问题。“俾斯麦海之战”，一个我在 Haywood（1954）中找到的博弈，发生在 1943 年的南太平洋上。日本海军上将木村（Imamura）受命将日本陆军运抵新几内亚，其间要穿越俾斯麦海。而美国海军上将肯尼（Kenney）欲对日军运输船进行轰炸。穿越俾斯麦海通往新几内亚有两条航线：较短的北线和较长的南线，木村必须

从中选择一条。而肯尼则必须决定将其飞机派往何处去搜索日军。如果肯尼将他的飞机派到了错误的航线上，他虽然可以召回它们，但可供轰炸的天数就会减少。

参与人是肯尼和木村。他们的行动集相同，都为{北，南}。但他们的支付，如表1—3所示，是截然不同的。木村所失正是肯尼所得。正是由于这一 23
特点，支付可用四个数字而非八个数字来表示，但将所有八种支付都列于表1—3上有助于读者思考。具有四个数字的2×2博弈是一个**矩阵博弈**（matrix game），与之等价的具有八个数字的博弈是**双矩阵博弈**（bimatrix game）。只要行动的数目是有限的，即使行动多于两个，博弈也可以用矩阵或双矩阵来表示。

表1—3 **俾斯麦海之战**

		木村		
		北		南
肯尼	北	**2，−2**	↔	2，−2
		↑		↓
	南	1，−1	←	3，−3

支付：（肯尼，木村）。

严格来说，两个参与人都没有优势策略。如果肯尼认为木村会选择北的话，他也会选择北。但是如果他认为木村会选择南的话，他就会选择南。反过来看，如果木村认为肯尼会选择南的话，他会选择北，而如果他认为肯尼会选择北的话，那么南、北两种选择对他来说都是一样的。这正是图中箭头所示。但使用“弱优势”的概念，我们仍可能找到一个较为合理的均衡。

对于参与人 i 的策略 s_i' 来说，如果存在有可能比 s_i' 好而绝不会比 s_i' 差的另一策略 s_i''，即在某些策略组合下，s_i'' 可带来更高的支付而绝不会产生更低的支付，那么我们就说 s_i' **弱劣于**（weakly dominated）s_i''。从数学上讲，若存在 s_i''，使得

$$\pi_i(s_i'', s_{-i}) \geqslant \pi_i(s_i', s_{-i}), \quad \forall s_{-i}$$

且对于某一 s_{-i}，有

$$\pi_i(s_i'', s_{-i}) > \pi_i(s_i', s_{-i}) \tag{1.4}$$

则称 s_i' 弱劣。

同样地，我们称一个策略是**弱优势策略**（weakly dominant strategy），如果它至少与其他策略一样好，并且严格好于某些策略。

我们可以将**弱优势策略均衡**（weak-dominance equilibrium）定义为在剔除了每个参与人的全部弱劣势策略后所得到的一个策略组合。然而，剔除弱劣势策略在“俾斯麦海之战”中作用不大。木村的策略“南”弱劣于策略“北”，因为他选择北所获得的支付是绝不会小于他选择南所获得的支付的，而若肯尼选择南的话，他选择北所获得的支付将更大。可是对于肯尼来说，没有任一策略是弱劣的。建模者必须在定义均衡方面更进一步，即定义一个重复剔除优势均衡。

我们首先从某一参与人的策略集里剔除一个弱劣策略，再重新考察各个参与人剩下的策略中哪些是弱劣的并剔除其中之一，继续这一过程，直到每个参与人都仅剩一个策略。由此得到的策略组合就称为**重复剔除优势均衡**（iterated dominance equilibrium）。

我们将这一均衡概念应用于“俾斯麦海之战”，则意味着肯尼断定木村会选择策略北，因为它是弱优势的。故而肯尼将｛木村选择南｝排除在考虑之外。在已去掉了表 1—3 中一列的情况下，肯尼有一个强优势策略：选择北，
24 他这样做所获得的支付严格大于选择南。策略组合（北，北）是重复剔除优势均衡。而（北，北）也是在 1943 年所发生的真实情况。

在“俾斯麦海之战”中，对博弈的顺序或信息结构加以更改将颇为有趣。如果肯尼首先采取行动，而不是与木村同时行动的话，（北，北）仍会是一个均衡，但（北，南）也会成为一个均衡。对于两个均衡来说，支付相同而结果不同。

如果木村先采取行动，那么（北，北）将会是唯一的均衡。某一参与人首先行动这件事的重要之处不在于行动的文字顺序，而在于它在另一参与人行动前给了他更多的信息。如果肯尼破译了日军密码从而得知了木村的计划，那么两个参与人在名义上同时行动就失去了意义。此时这一博弈更应被模型化为一个序贯博弈（sequential game）。不管是木村实际上先采取行动还是他的密码被破译，总而言之，在他作决定之后，肯尼的信息要么是｛木村选择了北｝，要么是｛木村选择了南｝，所以肯尼的均衡策略可被设为｛如果木村选择了北，北；如果木村选择了南，南｝。

博弈论理论家们在术语的使用上是有所不同的，而用于描述剔除劣势策略的术语就更是五花八门。在“俾斯麦海之战”中使用的均衡概念可以被称为重复剔除优势均衡或**重复剔除优势策略均衡**（iterated-dominant-strategy equilibrium）。人们也会称这一博弈是**优势可解的**（dominance solvable），即它可用重复剔除优势的方法来求解。人们还可能称这一均衡策略组合为**逐次非劣势的**（serially undominated）。上述说法中的每一种都意味着剔除严格劣

策略或弱劣策略。当然，重复剔除严格劣策略的思想是很好的，但是在应用中却难以实现。对于一个 3×3 的例子，其中重复剔除严格劣策略可以得到唯一的均衡，而不管博弈是否有整体优势策略（见 Ratliff（1997a；p. 7））。

在强优势与弱优势之间存在着显著的不同。理性参与人是绝不会选择严格劣策略的，这一点已成为共识。但对弱劣策略的讨论就更加麻烦了。在经济模型中，厂商和个人常常对其在均衡时的行动持无所谓的态度。在完全竞争的标准模型中，厂商的经济利润为零。但必须有一些厂商活跃在市场中，而另一些则在市场外偃旗息鼓，这一点是很重要的。如果一个垄断者知道消费者史密斯最多愿意为一件小饰品掏 10 美元，那么在均衡时，他就会向史密斯要恰好 10 美元，这样便置史密斯于买和不买两可的境地。但除非史密斯购买，否则便谈不上存在均衡。因此，仅仅由于参与人在均衡时对其行动无差异就排除这些均衡是不恰当的。当我们随后在 4.3 节中讨论类似的"开集问题"时，这一点应被谨记于心。

另一难点便是多重均衡。若优势策略均衡存在，则它必定是唯一的。如果一个策略的支付在任一策略组合中都严格高于其他策略，那么每一个参与人最多只能有一个这样的策略，故而由优势策略组成的策略组合也必定是独一无二的。如果一个强的重复剔除优势均衡存在，则它必定是唯一的。如果一个弱重复剔除优势均衡存在，则它不一定是唯一的，因为剔除的顺序会影响到最终结果。如果所有的弱劣策略在每次剔除中都被同时剔除，那么如果均衡结果存在，则它一定是唯一的，但也可能不存在策略组合。

考虑表 1—4 所示的"重复剔除路径博弈"。策略组合（r_1，c_1）和（r_1，c_3）都是重复剔除优势均衡，因为两者的策略组合都可以通过重复剔除来得到。剔除的顺序既可以是（r_3，c_3，c_2，r_2），也可以是（c_2，r_2，c_1，r_3）。 25

表 1—4　　剔除路径博弈

		列		
		c_1	c_2	c_3
	r_1	**2，12**	1，10	**1，12**
行	r_2	0，12	1，10	0，11
	r_3	0，12	0，10	0，13

支付：（行，列）。

尽管存在这样那样的问题，剔除弱劣策略仍然不失为一种有用的办法，而且它还是许多更为复杂的均衡概念的重要组成部分，例如 4.1 节所讲的子博弈完美性的概念。

零和博弈

剔除路径博弈正如经济学中典型的博弈问题那样，其中如果一个参与人获得，那么另一个参与人并不一定必须失去。例如，对两个参与人来说，结果（2，12）优于结果（0，10）。既然经济学大多数是关于交易所得的研究，那么即使每一个参与人都仅试图最大化自身的利益，双赢的结果也有可能出现，这一点不足为奇。然而，有些博弈则不同，例如“俾斯麦海之战”中，其参与人的支付之和总是为零。这一特点如此重要，以至在博弈论出现初期就有了专有名词。

如果在一个博弈中，无论每个参与人选择什么样的策略，所有参与人的支付之和总是为零，那么这一博弈便被称为**零和博弈**（zero-sum game）。**非零和博弈**（nonzero-sum game）又称为**可变和博弈**（variable-sum）。

在零和博弈中，一个参与人之所得恰恰是另一个参与人之所失。“俾斯麦海之战”是零和博弈，但囚徒困境和干洗店博弈则不是，而且如果不对博弈的核心要素作改动的话，也无法使这些博弈变为零和博弈。

如果一个博弈是零和的，那么在任何结果下参与人的效用之和都为零。由于效用函数具有任意性，即使博弈是零和的，其结果之和也可用非零数来表示。在很多情况下，建模者所指的零和博弈其支付加和不为零，只要支付加和为一个常数就可以了。这些区别只是规范上的细小差异。

虽然零和博弈在许多年中都令博弈论专家们着迷，但它在经济学中的确难得一见。为数不多的几个例子之一便是分享剩余的两个参与人之间的讨价还价博弈。但即使这种博弈也常常被模型化为非零和博弈。因为随着参与人花费越来越多的时间用于决定如何分享剩余，剩余本身会变得越来越小。在现实生活中不难看到，即使是对产权的简单分割也会造成损失——只要想想正在离婚的夫妇为分割财产打官司而不得不付给律师钱就行了。

尽管本章中的2×2博弈看似小儿科，但是它已简洁到足以对现实经济情况模型化。例如，“俾斯麦海之战”就可被变为一个关于公司策略的博弈。名为肯尼和木村的两家公司都在一个规模不变的市场上为最大化其市场份额而
26 绞尽脑汁。它们要在名为南和北的两种产品设计间抉择。肯尼公司在营销手段上技高一筹，故而想与对手展开正面交锋，而木村公司则竭力避其锋芒，博弈的均衡便是（北，北）。

1.4 纳什均衡：智猪博弈、性别战和协调博弈

对于绝大多数博弈而言，重复剔除优势均衡也是不存在的。建模者此时

会诉诸纳什均衡这一重要且最常见的均衡概念。我们以鲍德温和米斯（Baldwin and Meese，1979）给出的智猪博弈为例来引入纳什均衡的概念。

两头猪被关在同一个猪圈里。猪圈的一头安装着一个特制的按键，另一头安装着食槽。当一头猪按下按键时，会有 10 单位的食物进入槽中，但按键的猪会付出 2 单位的成本。这两头猪中，有一头是“占优的”（我们不妨假设为大猪）。如果大猪先到食槽，则小猪只能吃到相当于 1 单位的残羹冷炙；但若小猪先到的话，则它能吃到 4 单位的食物。若两头猪同时到，则小猪可吃到 3 单位的食物。这样，例如，策略组合（按键，按键）将使得大猪得到 5 单位的食物（10 单位的食物中，3 单位由小猪吃掉，2 单位为按键的成本），小猪得到 1 单位的食物（3 单位的食物中，2 单位为按键的成本）。表 1—5 总结了“按键”和“在食槽边等待”这两种策略的支付情况。

表 1—5　　智猪博弈

		小猪		
		按键		等待
大猪	按键	5，1	→	4，4
		↓		↑
	等待	9，−1	→	0，0

支付：（大猪，小猪）。箭头表示参与人如何增加支付。
黑框表示占优反应支付。

智猪博弈不存在优势策略均衡，因为大猪将作何选择取决于它认为小猪将作何选择。如果它认为小猪会去按键，则它就将在食槽边等待。而若它认为小猪不会去按键，则它就会自力更生。重复剔除优势策略均衡（按键，等待）是存在的，但我们将使用纳什均衡这一不同的推理方法来验证这一结果。

纳什均衡是经济学中标准的均衡概念。与优势策略均衡相比，它的正确性也许不是一目了然，但其应用的普遍性却是毋庸置疑的。纳什均衡被使用的普遍性已到了这样的程度：若模型中未对所采用的均衡概念详加说明的话，读者就会明白它采用的均衡概念如果不是纳什均衡，就是纳什均衡的某种精炼（refinement）形式。

*在一个策略组合 s^* 中，在其他参与人都不会改变已有策略的条件下，如果没有参与人有激励去改变自身的策略，则称 s^* 为***纳什均衡**（Nash equilibrium）。*正式地，有*

$$\forall i \quad \pi_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq \pi_i(s_i', s_{-i}^*), \quad \forall s_i' \tag{1.5}$$

27 策略组合（按键，等待）是一个纳什均衡。理解纳什均衡的最好办法就是构造一个策略组合，然后看看每个参与人的策略是否为对其他参与人策略的最好回应。如果大猪选择了“按键”，那么要在“按键”从而得到 1 和“等待”从而获取 4 之间抉择的小猪自然会选择“等待”。反过来说，如果小猪选择了“等待”，那么大猪在“按键”从而获取 4 和“等待”从而得到 0 之间自然会选择“按键”。这就印证了（按键，等待）确实是一个纳什均衡。事实上，它是本博弈唯一的纳什均衡。[5]

在试图找出均衡之时，在图中画箭头是很有用的，因为推算的步数太多，已足以令人眼花缭乱。另一种解题的小窍门，正如表 1—5 所示，便是将优于其他支付的支付圈起来（或者像此处将它们框起来也是合适的）。双箭头或双圈都意味着弱优势的支付。如果在某一支付组合中，每一支付都被圈起来了，或者说从各个方向都有箭头指向这一支付组合，则该组合就代表着纳什均衡。就我个人而言，在 2×2 博弈中，我更偏爱使用箭头。但对于更大的博弈来说，画圈则更为可取，因为当支付并不在表中按大小排列时，众多箭头无疑会使人晕头转向（见下一章表 2—2）。

本博弈的参与人——猪——必须比囚徒困境中的参与人——囚徒——更为“聪明”。它们必须意识到唯一的由自洽的信念支持的策略集便是（按键，等待）。在纳什均衡的定义中看不到在优势策略均衡中曾有的“$\forall s_{-i}$”，因此，一个纳什均衡策略只需要是对其他纳什均衡策略的最佳反应，而不必是对全部可能策略的最佳反应。此外，虽然说是“最佳反应”，但由于参与人实际上是同时采取行动的，因此他们都在预测别人的行动。若博弈是重复进行的，或者参与人之间可以交流信息，则纳什均衡就会变得更加引人注目，因为参与人的信念会更加趋于一致。

同优势策略均衡一样，纳什均衡也有强弱之分。以上定义其实是针对弱纳什均衡的。要定义一个强纳什均衡，只需要求上述不等式严格成立。也就是说，没有参与人对是选择均衡策略还是选择其他策略持两可的态度。

每一个优势策略均衡都是纳什均衡，但并非每一个纳什均衡都是优势策略均衡。如果某一策略是优势的，那么它对于其他参与人选择的任何策略而言都是最佳反应，这其中自然也包括其他参与人的均衡策略。而如果某一策略是纳什均衡的组成部分，那么它只需对其他参与人的均衡策略而言是最佳反应就可以了。

表 1—6 所示的“建模者困境”便显示了纳什均衡的这一特点。它力图模型化的情形与囚徒困境相似，但有一个重要区别——虽然警方可以将行、列

两人作为嫌疑犯拘捕，但若两人都拒不坦白，则警方对他们将束手无策，即西北角的支付组合是（0，0），而非（−1，−1）。

表 1—6 **建模者困境**

行 \ 列	抵赖		坦白
抵赖	**0**，**0**	↔	−10，0
	↕		↓
坦白	0，−10	→	**−8**，**−8**

支付：（行，列）。箭头表示参与人如何增加支付。

建模者困境是没有优势策略均衡的，它仅有一个弱优势策略均衡，因为对每个参与人而言，坦白仍是一个弱优势策略。而且从这一事实中我们也会发现，（坦白，坦白）是一个重复剔除优势均衡，此外，它也是一个强纳什均衡。因此，（坦白，坦白）仍将是均衡结果这一点似乎是无可非议的。 28

然而，在建模者困境中还存在另外一个纳什均衡：（抵赖，抵赖）。这是一个弱纳什均衡。虽然这一均衡是弱的而另一均衡是强的，但是（抵赖，抵赖）仍有其自身的优势。它的结果具有帕累托优势，因为在（0，0）中二者的支付都大于（−8，−8）。此外，如果这一博弈是序贯博弈，而建模者把博弈的顺序搞错了，那么，（抵赖，抵赖）也会变得更为可取。这一切都使预测变得更为困难。

建模者困境揭示了研究人员面临的一个常见困难——当存在两个纳什均衡时如何预测。此时，建模者要么在博弈的规则中添加更多的细节，要么就诉诸**均衡精炼**（equilibrium refinement）的办法。后者指的是在基本的均衡定义上添加条件，直到仅有一个策略组合符合精炼后的均衡定义。对纳什均衡加以精炼并非唯一的出路。建模者也许会坚持一个较强的均衡，也许会排除弱劣策略，也许会使用重复剔除优势的办法。在建模者困境中，上述种种方法其实是殊途同归，它们都会得到相同的结果——（坦白，坦白）。建模者的另一个办法就是，干脆排除那些帕累托劣于其他均衡的纳什均衡，由此得到的结果是（抵赖，抵赖）。但是，没有一种办法是十全十美的。特别地，不要误认为弱纳什均衡可以被轻视。通常情况下，纳什均衡是不存在的，除非参与人期望参与人 B 在他认为 X 和 Y 之间没有区别时能够选择 X。这并不意味着当假设 B 在无所谓的情况下选择 X 时我们就能得到均衡，而是我们发现了有关行动的一致性期望的最好集合（你将在 4.2 节中看到更为详细的有关“开集问题”的内容）。

性别战

我们用来例示纳什均衡的第三个博弈是“性别战”（battle of the sexes）。这一博弈描述的是一对恋人间的矛盾。其中男方想看拳击，女方喜欢芭蕾。尽管他们都是自利的，但他们是如此相爱，以至如果需要的话，他们都会牺牲自己的喜好来陪伴对方。他们的支付（这么说尽管不太浪漫）由表1—7给出。

表1—7 **性别战**[6]

		女		
		拳击		芭蕾
男	拳击	**2，1**	←	0，0
		↑		↓
	芭蕾	0，0	→	**1，2**

支付：（男，女）。箭头表示参与人如何增加支付。

性别战中不存在重复剔除优势均衡。它有两个纳什均衡，（拳击，拳击）是其中之一。给定男方选择拳击，女方也会夫唱妇随；而给定女方选择拳击，男方自然求之不得。基于同样的推理，策略组合（芭蕾，芭蕾）则显而易见是另一个纳什均衡。

参与人如何知道选择哪个纳什均衡呢？去看拳击和去欣赏芭蕾都是纳什策略，但分别是针对不同均衡而言的。纳什均衡假定参与人的信念是正确且一致的。若这对恋人事先互不通气，则彼此可能误会对方的意图，出现男方
29 去欣赏芭蕾，女方反倒去看拳击的情况。但即使参与人不交流信息，仅仅通过博弈的重复进行，纳什均衡有时也能得以实现。如果这对恋人互不通气，但每晚都重复进行这一博弈，那么可以预见，他们将最终稳定在某一纳什均衡上。

在性别战中，任一纳什均衡都是帕累托有效的，其他策略组合都不可能在不降低其他参与人支付的条件下提高另一参与人的支付。但是在许多博弈中，纳什均衡并不是帕累托有效的。例如，（坦白，坦白）是囚徒困境中唯一的纳什均衡，尽管它的支付（－8，－8）帕累托劣于由（抵赖，抵赖）所产生的支付（－1，－1）。

在性别战中，谁先采取行动是至关重要的，这一点与前面我们提到的三种博弈有所不同。如果男方提前就买了拳击赛的票，那么他的这一行为就会使得女方也去看拳击。在许多（但是绝非全部）博弈中，先采取行动（这相当于承诺）的参与人拥有**先动优势**（first-mover advantage）。

性别战的经济应用十分广泛。其中之一就是同一行业内的两家公司选择行业标准的问题。这两家公司对标准的看法不同，但为了鼓励消费者购买其产品，都乐于采取统一的标准。另一应用就是两家公司之间合约语言的选择问题，尽管它们偏好不同的术语，但它们都不想让买卖泡汤。例如，两家公司都希望加入一条“损害清单”，上面详细列出对违反者的处罚措施，而不希望将此诉诸法庭来得到一个估计数字，但是一个公司可能想要 10 000 美元，而另一家公司可能想要 12 000 美元，这便使得合约的签订不那么顺畅。

协调博弈

某些时候，我们可以根据支付的大小在多个纳什均衡之间抉择。在下述博弈中，参与人史密斯和琼斯决定到底是为他们即将出售的计算机设计使用大软驱，还是使用小软驱。若他们的软驱一样，则他们的销量都会更大。支付由表 1—8 给出。

表 1—8　　分级协调

		琼斯		
		大		小
史密斯	大	**2，2**	←	−1，−1
		↑		↓
	小	−1，−1	→	**1，1**

支付：（史密斯，琼斯）。箭头表示参与人如何增加支付。

策略组合（大，大）和（小，小）都是纳什均衡，但是（大，大）帕累托优于（小，小）。两个参与人都偏好（大，大），故而绝大多数建模者都会用帕累托有效均衡来预测实际结果。我们可以假定，这一点是通过在模型设定之外所发生的史密斯和琼斯间的信息交流来实现的。但更为有趣的问题是，若信息交流是不可能的，则结果将会怎样。帕累托有效均衡依然是更为合情合理的吗？这与其说是一个经济学问题，不如说是一个心理学问题。

有一大类博弈被称为**协调博弈**（coordination games），其共同特点是，参 30
与人需要在几个纳什均衡中协调，以选取一个。分级协调（ranked coordination）是其中一种。它的额外特点是，均衡可按帕累托原则分级。3.2 节将回到协调问题上来，讨论“相关策略”和“廉价交谈”。这些博弈与对标准设定的分析具有明显的相关性，可参见 Michael Katz and Carl Shapi（1985）以及 Joseph Farrell and Garth Saloner（1985）。对于经济财富来讲，它们是至关重要的——仅考虑权重和测度标准化的优点就可以看出（或者参阅关于它们历

史的专著：Charles Kindleberger（1983））。然而，应当注意，并不是所有关于帕累托劣势均衡的协调都会有这样显然的结果。一个经常被引用的协调问题是 QWERTY 式键盘的问题。这种键盘是 19 世纪 70 年代发展起来的，当时打字员不得不慢慢敲键，以避免机械出故障。由此 QWERTY 就成了标准，尽管若使用 Dvorak 键盘所带来的打字速度的提高足以补偿对一个专职打字员进行 10 天以内的再培训的成本（David，1985）。在这个故事中，为什么大的公司不采用对它们的打字员进行再培训的方案，在当时的历史背景下难以解释清楚。1990 年利博维茨和马戈利斯（Liebowitz and Margolis）声称，经济学家们还不能这么快就接受这是一种协调无效的观点。英语拼写也许是一个更好的例证。

表 1—9 所示的是另一个协调博弈——“危险的协调”。它与分级协调有着相同的均衡，但在偏离均衡时的支付则大相径庭。如果进行一项实验，让学生们在彼此间进行危险的协调，则（小，小）这一帕累托劣势均衡在我看来却往往会是博弈的结果。若史密斯确信琼斯会选择大，那他自然也乐于选择大，即使（大，大）也是一个纳什均衡，上面的说法依旧成立。关键在于，如果模型的假定被放松了，即如果琼斯是理性的、做事合乎逻辑且对博弈的支付一清二楚这一点在史密斯看来不太靠得住，那么此时史密斯对于选择小就会三思而后行了，因为若琼斯选择了小，则他的损失高达1 000。因此，他将采取保险的行动，保证他的支付至少为－1。事实上，人都是会犯错误的，而考虑到支付的差异如此悬殊，因此即使犯错误的概率不大，参与人
31 也不敢掉以轻心。总而言之，此时，（大，大）未必是好的预测。

表 1—9　　　　危险的协调

		琼斯		
		大		小
史密斯	大	**2，2**	←	－1 000，－1
		↑		↓
	小	－1，－1	→	**1，1**

支付：（史密斯，琼斯）。箭头表示参与人如何增加支付。

博弈论领域的两位大师，泽尔腾和海萨尼，在他们 1988 年的专著中对诸如危险的协调之类的博弈给予了特别的关注。除了要表明我的见解与他们的有所不同之外，在此我并不对他们的方法给予描述。危险的协调中的某一纳什均衡不是一个好预测，这一点的确是事实，但我并不认为这一事实是对纳什均衡概念的重大打击。这一错误预测是建立在使用纳什均衡这一概念和采

用危险的协调的博弈这两点之上的。如果琼斯可能会搞错博弈的支付，那么实际上进行的博弈就并非危险的协调，因此它的预测效果很差就是情理之中的事了。博弈规则不仅应当规定参与人采取特定行动时的支付是多少，而且还应对参与人犯糊涂的概率加以描述。如果在实际情况中，参与人犯错误是重要的特点，那么采用如表 1—9 所示的 2×2 博弈模型就并非明智之举。此时，第 2 章中将要介绍的更为复杂的不完全信息博弈则是更为可取的选择。我想重申的是，如同在囚徒困境中遇到过的情况一样，在发现模型的结果出乎意料之时，建模者的第一反应不应当是“博弈论是个骗局”，而应是更为谦逊地反省——“没准是我对情况的描述不尽正确”（或者，“也许我不应轻信习惯思维对将要发生什么的判断”）。

纳什均衡比看起来更复杂，但也更有用。往前跳一点，考虑一个比我们前面给出的稍微复杂一些的博弈。两个厂商同时选择其要生产的产量 Q_1 和 Q_2。纳什均衡是（Q_1^*，Q_2^*）这样一组数，任何厂商都不会单方面背离这一均衡结果。但这使得初学者感到困惑，他将对自己说：“当然，如果厂商 1 认为厂商 2 将选择产量 Q_2^*，那么厂商 1 选择产量 Q_1^*。但是，若厂商 1 意识到，如果它选择更大的产量 Q_1，厂商 2 对此作出的反应将是选择较小的产量 Q_2，这样情况就变得更为复杂了，（Q_1^*，Q_2^*）不再是纳什均衡。或者说，纳什均衡是一个较差的均衡概念。”

但是模型中存在的问题，不是纳什均衡的问题，而是模型自身的问题。纳什均衡使模型得到了一个完美的、稳定的结果。初学者的假定是错误的，因为如果厂商 1 选择的产量不是 Q_1^*，那么厂商 2 将不会观察到这一偏离，直到以致无法改变其产量 Q_2——记住，这是一个同时行动的博弈。初学者的担心实际上是与博弈规则而不是均衡概念相关的。他侧重的似乎是一个厂商顺次行动的博弈，或者说是一个具有重复博弈的情形。如果厂商 1 首先行动，然后厂商 2 再行动，那么厂商 1 的策略将仍然是一个单一的数 Q_1，但是厂商 2 的策略——它的行动规则——将是一个函数，$Q_2(Q_1)$。纳什均衡将由均衡数 Q_1^{**} 和一个均衡函数 $Q_2^{**}(Q_1)$ 组成。这两个结果实际上是选择 Q_1^{**} 和 $Q_2^{**}(Q_1^{**})$，因此与最初博弈中的 Q_1^* 和 Q_2^* 是不同的。而且，它们也应该不同，因为新模型代表一种完全不同的现实情形。在本书的后面，你将看到第 3 章中的古诺模型（Cournot models）和斯塔尔伯格模型（Stackelberg models）。

从中应该学到的是，在求解均衡前，我们应该首先找到策略的数学模型，这一点很重要。在同时行动博弈中，策略组合是一组非负数。而在顺序博弈中，策略组合则是一个非负数和一个定义在非负数上的函数。学生总是认为

厂商 2 的策略是一个数，而不是一个函数，这是一种错误的认识。这比初学者所意识到的要重要得多。相信我，今后你们迟早将会犯这样的错误，因此有必要给予提醒。

1.5 聚　点

32 托马斯·谢林（Thomas Schelling）的《冲突的策略》（*The Strategy of Conflict*）是博弈论的经典之作，尽管其中既无方程，又无希腊字母。虽然该书问世已有 40 年之久，但其思想内涵却奇迹般地并未落伍。谢林本人是战略家而非数学家，他研究的领域包括威胁、承诺、人质以及谈判等等，这些问题在本书的后续章节中都会以更为正规的方式加以探讨。谢林的合作博弈理论恐怕是他最为人所知之处。下述几个博弈都改编自谢林的书，请你想想在这些博弈中你将采取什么策略，你的选择与其他参与人的选择一致的次数越多，你所赢得的就越多。

（1）选择下面一个数，并画上圈：100，14，15，16，17，18。

（2）选择下面一个数，并画上圈：7，100，13，261，99，666。

（3）是要硬币的正面还是反面。

（4）是要硬币的反面还是正面。

（5）你和别人一起分蛋糕，你们各自报出欲分得的比例，但若你们所报的比例之和超过百分之百，则你们都将一无所获。

（6）你要在纽约城和一个人会面，但应在何时何地碰头呢？

上述博弈中的每一个都有许多纳什均衡。在例（1）中，如果每个参与人都认为其他参与人会选择 14；他也会选 14，这是一种自我认识；当每个参与人都认为其他参与人会选择 15 时，这也是对的。但在这些纳什均衡中，总有一些看起来或多或少可能性更大一些。这些特定的策略组合就称为**聚点**（focal points），即出于心理上的原因尤为引人注目的那些纳什均衡。

要使某一策略组合成为聚点的缘由正式化并非易事，这往往有赖于具体的环境。在例（1）中，100 是一个聚点，因为它与其他的数有明显的区别——是最大的数且排在第一位。在例（2）中，谢林发现选 7 是最常见的策略，但在一群贪得无厌的人中，666 没准就会成为聚点。在重复博弈中，过去的历史常常就规定了聚点之所在。在例（3）和例（4）中，除了选择的次序以外，其他都是相同的，但选择次序的不同也可能产生差别。在例（5）中，如果我们头一回分蛋糕，我们可能会同意五五开。但是，若上年我们曾按四

六开分过一次蛋糕，则这就为今年规定了一个聚点。例（6）是这几个例子中最有趣的一个。谢林发现，在独立选择后会达到惊人的一致性，但是地点的选择则取决于参与人对纽约是熟悉还是陌生。

边界（boundary）是一种特殊的聚点。如果参与人俄罗斯选择的行动是在中国边境以外从 1 英寸到 100 英里的地方部署军队，参与人中国将不作出反应。但是，如果俄罗斯选择超出这一范围之外部署军队的话，那么中国将会宣战。这是一个在边界处任意的不连续性的行为。另一个例子便是一个含有嘲讽意味的战斗口号——“北纬 54°40″或者战争”。这一口号正是由于其任意性而变得格外鲜明，它是在 19 世纪 40 年代美国和英国发生俄勒冈之争时，由美国的扩张主义者提出来的，他们想得到整个俄勒冈地区。[7]

边界一旦划定，就具有与众不同的重要性，因为针对边界的行为就传递了信息。当俄罗斯越过已划定的边界时，这就意味着告诉中国，俄罗斯将对中国内部进行侵略。如果要保证边界不被侵犯，那么必须严格划定边界且达成共识。因此为了划界清楚，无论是在法律上还是在外交上都要耗尽心血。在商业领域也会出现类似边界的问题。两家生产不益于健康的产品的公司也许 33
会达成默契，不在广告中提及各自产品的相对健康程度。因此，诸如“如果你乐意，不妨提一提，只要别大肆渲染”这种边界规则是不会奏效的。

在没有清楚的聚点之时，**调解**（mediation）和**沟通**（communication）就变得十分重要了。如果参与人可以相互沟通，那么人们就可以告诉别人自己将采取什么行动。在诸如分级协调的某些场合，这一招会奏效，因为参与人没有激励去撒谎。如果参与人之间无法沟通，则调解人就大有用武之地了，因为此时他可以向所有参与人建议一个均衡。参与人此时没有理由不接受建议，而且即使请调解人花费不菲，他们也会乐于去请。在这些情况下的调解就同由外人给出解决方案的仲裁一样有效。

聚点的一个毛病是会导致“僵局”。假设在分级协调中帕累托最优的均衡（大，大）被选为了聚点，且这一博弈在长时间内反复重演，同时支付矩阵中的数值慢慢改变，直至（小，小）和（大，大）的支付都变为 1.6，而且（小，小）开始占据优势。均衡会在何时改变呢？

在分级协调中，我们可以预见，在一段时间之后，某一公司会转变而另一公司会效仿。如果不存在沟通的话，转变会发生在支付变为 1.6 的时候。但是，若首先转变的公司会吃亏，则情况又会如何？这就是寡头定价中经常出现的问题。如果成本上升了，那么垄断价格也应随之上升，但是不管哪家公司首先提价，它都会遭到失去市场份额之苦。

注

N1.2 劣策略和优势策略：囚徒困境

- 许多经济学家都不喜欢使用基数效用这一概念（见 Starmer（2000）），更反感进行人与人之间的效用比较（见 Cooter and Rappoport（1984））。非合作博弈理论从来不要求对人与人之间的效用进行比较，为了找出囚徒困境的均衡，只需要序数效用便可以了。因此，只要每个参与人的支付在不同结果下的排序不发生变化，支付的具体数值的变化是不会改变均衡的。一般来说，博弈的优势策略和纯策略纳什均衡仅取决于支付的序数排序，但是混合策略均衡则依赖于基数的取值。试比较 3.2 节中的斗鸡博弈和 5.6 节中的鹰鸽博弈。
- 若我们仅考虑在 2×2 博弈中支付的序数排列情况，则当每个参与人都对四种结果有严格偏好顺序时，存在 78 种不同的博弈；若我们允许支付之间无差异的话，则存在 726 个不同的博弈。Rapoport，Guyer and Gordon（1976）的 2×2 博弈对所有可能存在的博弈给出了详尽的描述。
- 如果我们允许参与人可以随机化他们的行为选择（见第 3 章的“混合策略”），则某些行动可能会严格劣于随机策略，即使它不被任何非随机策略占优。第 3 章中给出了一个例子。吉姆·拉特利夫（Jim Ratliff）网络上的注释对这一问题也很有帮助，见 Ratliff（1997a，1997b）。如果允许随机策略存在，那么对优势的检验以及 1.3 节中对剔除优势策略思想的运用将变得更加困难。
- 囚徒困境是由艾伯特·塔克（Albert Tucker）在一篇未发表的文章中首先命名的，尽管由德雷斯尔和弗勒德（Dresher and Flood）设计的这一特定 2×2 矩阵早已广为人知。当时，塔克应邀为斯坦福大学心理系开一场关于博弈论的讲座，他构思了这一故事来辅助对矩阵的讲述。斯特拉芬（Straffin，1980）、庞德斯通（Poundstone，1992，pp. 101－118）和拉法（Raiffa，1992，pp. 171－173）讲述了这段往事。
- 在囚徒困境中，合作（cooperate）和背叛（defect）这两种说法也经常用来代表行动。这样做并不值得效法，因为它容易与合作博弈（cooperative games）和偏离（deviations）相混淆。它也常被称为囚徒们的困境（the Prisoners' Dilemma）。无论是从个人的角度还是从团体的角度来讲，囚徒们都面临着困境。

- 囚徒困境并不总是以相同的方式来设定的。如果我们仅考虑序数支付，则表 1—10 的博弈也是一种囚徒困境，T(诱惑，temptation)$>R$(背叛，revolt)$>P$(惩罚，punishment)$>S$(受骗，sucker)，括号的词仅是为了便于记忆。这是一种标准的符号，例如，见 Rapoport，Guyer and Gordon（1976，p. 400）。若博弈是重复进行的，则支付的基数取值将变得重要。如果要使这一博弈成为标准的囚徒困境，而且其中以支付的总和而言，（坦白，坦白）和（抵赖，抵赖）分别是可能出现的最好和最坏情况，那么 $2R>T+S>2P$ 这一条件是必不可少的。5.3 节将说明，一个名为“单边囚徒困境”（one-sided prisoner's dilemma）的不对称博弈有与标准的囚徒困境相似的性质，但与这一定义并不一致。

表 1—10　　广义的囚徒困境

		列		
		抵赖		坦白
行	抵赖	R，R	→	S，T
		↓		↓
	坦白	T，S	→	$\boldsymbol{P}$，$\boldsymbol{P}$

支付：(行，列)。箭头表示参与人如何增加支付。

有时，$2R<T+S$ 的博弈也被称为囚徒困境，但此时参与人的支付之和是当一人坦白而另一人抵赖之时才达到最大。若博弈是重复进行的，或者如果囚徒们可以使用 3.2 节中定义的相关均衡，则囚徒们会乐于轮番坦白，从而使这一博弈变成一个类似于性别战的协调博弈。戴维·希姆科（David Shimko）提议将此命名为“囚徒之战”（或者也许可以称之为“性别囚徒困境”）。

- 希罗多德（Herodotus，公元前 429 年，Ⅲ-71）讲述了另一个与囚徒困境有着相同推理的早期例子，他讲的是大流士（Darius）阴谋推翻波斯国王的故事。当时，一群波斯贵族们聚在一起决定推翻国王，其间有人提议休会。大流士此时站出来大声疾呼，说如果休会的话，就一定会有人径直去国王那里告密，因为如果别人都不这样做的话，他自己就会去做。大流士说唯一的办法就是立即闯进皇宫，杀死国王。

　　这个谋反的故事还提供了关于协调博弈的出路。在杀死国王之后，贵族们想从自己的人中推选出一个人当国王。他们决定不自相残杀，而是在拂晓时分到山顶去，谁的马首先嘶叫，谁就成为国王。希罗多德还讲述了大流士的马夫是如何在这场随机安排中做手脚，使得大流士成为新国王的。

- 心理学家们也对囚徒困境深感兴趣，坎贝尔和索登（Compbell and Sowden，1985）的著作便是一本讨论囚徒困境和有关新峡谷悖论（Newcombe's paradox）的文集。博弈论甚至还被应用于神学之中——如果参与人之一是神甚或上帝，那么我们可以预见的均衡行为是什么呢？（见史蒂文·布拉姆斯（Steven Brams）1980年和1983年的著作——《圣经博弈：来自圣经旧约和圣人故事中的策略分析》（*Biblical Games: A Strategic Analysis of Stories from the Old Testament and Superior Beings*）。）

N1.4 纳什均衡：智猪博弈、性别战和协调博弈

- 对于纳什均衡思想的历史，可参见罗杰·迈尔森1999年的文章：《纳什均衡和博弈论历史》（"Nash Equilibrium and the History of Game Theory"）；罗伊·温特劳布1992年的论文集：《有关博弈论的历史》（*Toward a History of Game Theory*），诺曼·麦克雷1992年的《约翰·
35 冯·诺伊曼》；庞德斯通1992年的《囚徒困境：冯·诺伊曼、博弈论和炸弹难题》（*Prisoner's Dilemma: John von Neumann, Game Theory, and the Puzzle of the Bomb*）；西尔维娅·纳塞尔1998年的《美丽心灵》（*A Beautiful Mind*）以及玛丽·戴曼德和罗伯特·戴曼德（Mary and Robert Dimand）1996年的《博弈论历史》（*A History of Game Theory*），这些可作为了解博弈论历史的参考文献。有关经济学家的好的文献可参见：迈克尔·森伯格1992年的《杰出经济学家：他们的生活哲学》（*Eminent Economists: Their Life Philosophies*）以及1998年的《激情与艺术：工作中的经济学家》（*Passion and Craft: Economists at Work*）。塞尔久·哈特（Sergiu Hart）2005年的《与罗伯特·奥曼的会晤》（"An Interview with Robert Aumann"）（http://www.ma.huji.ac.il/hart/abs/aumann.html）也具有启发意义。莱昂纳德（Leonard，1995）对1928—1944年这段历史进行了讨论。
- 我是由鲍德温和米斯（Baldwin & Meese，1979）对一个实验的描述出发，进而构思了智猪博弈的支付。他们并未将此视为博弈论的实验，而是以心理强化的概念来描述这一结果的。性别战取自卢斯和拉法（Luce & Raiffa，1957，p. 90）的著作。为了迎合故事，我将他们的支付由（−1，−1）变为了（−5，−5）。
- 有些人更喜欢说"均衡点"（equilibrium point）而非"纳什均衡"，但后者确实更为方便，因为发明者的名字是"纳什"而非"马佐科维茨"

(Mazurkiewicz)。

- 伯恩翰姆（Bernherm，1984a）和皮尔斯（Pearce，1984）使用相互一致信念（mutually consistent beliefs）的想法构造了一个不同于纳什均衡的均衡概念。他们定义了一个**“可理性化策略”**（rationalizable strategy），将其规定为对某一理性信念集合的最佳反应。在这一理性信念集合中，每一参与人都相信其他参与人已经选择了各自的最佳反应。与纳什均衡的不同之处在于，既不要求全体参与人对选择何种策略都有相同的信念，而且他们的信念也不必是一致的。每一个纳什均衡都是可理性化的，但并不是每个可理性化的均衡都是纳什均衡。故而，这一想法告诉我们，为什么纳什均衡能够采用，但为什么又不能仅使用纳什均衡。在两人博弈中，可理性化的策略集合是由重复剔除严格劣策略后剩下的策略组合而成的，但是在具有三人或更多参与人的博弈中，这个集合将变小。拉特利夫（Ratliff，1997a）举出了一个非常好的数字例子。
- 杰克·赫什莱弗（Jack Hirshleifer，1982）将一个本质上与分级协调相同的博弈取名为“温柔陷阱”（the tender trap）。而另一个常见的名字是“信任博弈”（the assurance game）。
- 欧·亨利（O. Henry）的小说《麦琪的礼物》（*The Gift of Magi*）讲述的就是一个协调博弈，但其非凡动人之处恰恰就在于排除了沟通。在小说中，丈夫卖掉了怀表来给妻子买梳子作为圣诞礼物，可妻子却卖掉了秀发给丈夫买来了表链。任何事先的沟通都只会使结局变得索然无味，而这是比不协调更坏的结果。
- 宏观经济学中有比其表面上看起来更多的博弈论。宏观经济学中的理性预期（rational expectations）概念同纳什均衡一样面临着多重均衡和期望一致性的问题。现在博弈论已经常被明显地用于宏观经济学之中。参见 Canzoneri and Henderson（1991）以及 Cooper（1999）。

N1.5 聚点

- 除了其 1960 年的名著，谢林还写过关于民主（Schelling，1966）和加总的特殊性（Schelling，1978）的著作。政治科学家们现在正在以更为技术化的眼光来看待同一问题，见 Brams and Kilgour（1988）以及 Ordeshook（1986）。道格拉斯·穆齐奥（Douglas Muzzio）1982 年的《水门博弈》（*Watergate Games*）、托马斯·弗拉纳根（Thomas Flanagan）1998 年的《博弈论与加拿大政治》（*Game Theory and Canadian Politics*）以及威廉·赖克（William Riker）1986 年的《政治操纵的艺

术》（*The Art of Political Manipulation*）提供了博弈论如何应用于分析特定历史事件的引人入胜的例子。

- 在凯恩斯 1936 年《通论》（*The General Theory*）的第 12 章中，凯恩斯暗示股票市场就是一个有多重均衡的博弈。这就好像这样一场竞赛——报纸上登出了 20 位佳丽的玉照，参赛者所提名的佳丽必须是他认为会有最多人提名的那一位。显然，当聚点发生变化时，关于佳丽的预测就会发生巨大的变化。
- 并非我们所称的所有边界都具有任意性。如果当俄罗斯越过边境到达黑龙江时，中国无法很容易地进行防卫，那么中国很明显有理由就地作战。
- 36 克劳福德和哈勒（Crawford and Haller，1990）对重复协调博弈中的聚点问题进行了全面考察。他们考虑了哪一个均衡是主观上不同于其他均衡的，并试图发现参与人如何通过重复来获悉其他参与人的意图。如果在第一次重复中，参与人选择的策略便组合成了纳什均衡，则继续采取这样的策略便是众望所归了。但若他们一开始就不一致，则结果又将是什么呢？

习　题

1.1　纳什均衡和重复剔除优势（中等难度）

（a）证明每一个重复剔除优势均衡 s^* 是纳什均衡。

（b）举反例证明并不是所有的纳什均衡都可以通过重复剔除来得到。

（c）每一个重复剔除优势均衡是否都是由弱优势策略组成的？

1.2　2×2 博弈（容易）

找出或给出具有下述性质的 2×2 博弈的例子：

（a）不存在纳什均衡（可以忽略混合策略）。

（b）不存在弱帕累托优势策略组合。

（c）至少有两个纳什均衡，其中之一帕累托优于其他所有策略组合。

（d）至少有三个纳什均衡。

1.3　帕累托优势（中等难度）（来自卫忠欣（Jong-Shin Wei）的注释）

（a）若策略组合 s^* 是优势策略均衡，则这意味着它弱帕累托优于其他所有策略组合吗？

（b）若某一策略组合 s 强帕累托优于其他所有策略组合，则这意味着它

是优势策略均衡吗?

(c) 若 s 弱帕累托优于其他所有策略组合，则它一定是纳什均衡吗?

1.4 不协调（容易）

设想有一男一女，他们各自选择是去看拳击还是去看芭蕾。男方想看拳击，女方爱看芭蕾。但对他们来说更重要的是，男方处心积虑地想和女方出现在同一场合，可女方却想方设法躲着他。

(a) 构造一个博弈矩阵来表示这个博弈，选择相应的数值以符合上面文字描述的偏好。

(b) 若女方先采取行动，将发生什么?

(c) 此博弈中存在先动优势吗?

(d) 证明若参与人同时行动，则不存在纳什均衡。

1.5 重画结果矩阵（容易）

要使用新的方式来表达一个博弈出人意料地困难。在本题中，请用与正文不同的形式来重画结果矩阵。在下述每种情况下，阅读对博弈的描述并按指导去画出结果矩阵。如果你是从对博弈的描述出发，而不是盯着以前的结果矩阵，则无疑会有更大的收获。

(a) 性别战（表 1—7）。将（拳击，拳击）放在西北角，但将女方置于行的位置。

(b) 囚徒困境（表 1—2）。将（坦白，坦白）放在西北角。

(c) 性别战（表 1—7）。将男方置于行的位置，但将（芭蕾，拳击）放在西北角。

1.6 找出纳什均衡（中等难度）

找出表 1—11 所示博弈的纳什均衡。这些均衡都能由重复剔除优势得到吗?

表 1—11　　一个抽象博弈

		列		
		左	中	右
	上	10，10	0，0	−1，15
行	中	−12，1	8，8	−1，−1
	下	15，1	8，−1	0，0

支付：(行，列)。

1.7　找出更多的纳什均衡（中等难度）

找出表 1—12 所示博弈的纳什均衡，这些均衡都能由重复剔除优势得到吗？

表 1—12　　**风格与质地**

		列：风格	列：质地
行	风格	−2，0	0，1
行	质地	−1，−1	0，−2

支付：（行，列）。

1.8　哪个博弈？（中等难度）

表 1—13 中给出的支付矩阵表示的是我们已知的哪个博弈？（1）性别战博弈，（2）囚徒困境，（3）纯协调博弈，（4）法律解决博弈，（5）上述都不是。

表 1—13　　**哪个博弈？**

		列：A	列：B
行	A	3，3	0，1
行	B	5，0	−1，−1

1.9　选择计算机（容易）

一家公司的两个办公室决定选择 IBM 还是惠普计算机的问题与我们见过的哪个博弈相似？

1.10　竞选活动的收益（容易）

38 大多数华尔街投资银行近期同意不将竞选的收入纳入国库，这直到现在才形成统一的惯例。过去的博弈是怎样的？为什么银行希望这一协议能够尽快生效？

1.11　序贯囚徒困境（难）

在囚徒困境中，假设行先行动，然后列再行动。什么是可能的行动？什么是可能的策略？建立一个标准的模型，说明策略组合与支付之间的关系。

提示：标准的模型不是 2×2 矩阵的形式。

1.12 3×3 均衡（中等难度）

在表 1—14 所示的纯策略博弈中，确定每一个劣策略和每一个纳什均衡。

表 1—14 **一个 3×3 博弈**

		列		
		左	中	右
	上	**1，4**	5，−1	0，1
行	中	−1，0	−2，−2	−3，4
	下	0，0	9，−1	5，0

支付：（行，列）。

渔场：第 1 章的课堂博弈

八个乡村拥有一个渔场，每个乡村都要决定每个时期的捕鱼数量。每个乡村在时期 t 的捕鱼数为整数 X_t，则乡村在时期 t 的利润为 39

$$20X_t - X_t^2 \tag{1.6}$$

这样，如果进一步捕捞，则在某一点以后会出现收益集合缩小、边际成本增高的现象。

鱼的数量最初是 112 条（平均每个乡村 14 条），博弈持续进行 50 年。设 Q_1 表示在第一个 10 年开始时鱼的数量。在第二个 10 年，鱼的数量为

$$1.5\times(Q_1-(X_{1t}+X_{2t}+X_{3t}+\cdots)) \tag{1.7}$$

如此继续下去。式中，X_{it} 为第 i 个乡村在第 t 个 10 年的捕鱼数。

如果 $X_{11}=30$，$X_{21}=X_{31}=\cdots=X_{81}=3$，那么第一个乡村的利润为

$$20\times30-30^2=600-900=-300$$

其他每个乡村的收益为 $20\times3-3^2=60-9=51$。第二个 10 年，鱼的数量为

$$Q_2=1.5\times(112-30-7\times3)=1.5\times(82-21)=1.5\times61=92$$

1. 在第一种做法中，鱼的所有者为八个乡村选择捕鱼数量，以便使得将来 50 年的捕鱼数量达到最大化。在第一年，每个乡村都会向其他乡村提出捕鱼限额。这个集体将讨论这些提议，最终由鱼的所有者经过深思熟虑后给出决定。一旦捕鱼限额定下来，那么鱼的所有者将计算下一

年鱼的数量，上述过程将重复进行来决定下一年的捕鱼数量。

2. 每个乡村的选择都是独立的。每个乡村在纸上写出它们的捕鱼数量，之后直接交给鱼的所有者。鱼的所有者拿到所有的汇报后仅宣布捕鱼的总量，而对于每个乡村的报数直到第 50 年末才予以公布。如果试图捕鱼的量超过了鱼的总量，那些提交它们捕鱼计划的乡村占据了优先权，每个乡村的支付为 $20Z_t - X_t^2$，其中 Z_t 为它们的实际捕捉量，X_t 为打算捕捉量，即写在纸上的数字。这样的做法将持续 50 年。

3. 重复第二种做法，但是将每个乡村的实际捕捉量（而非打算捕捉量）在每 10 年的年末予以公布。

4. 重复第三种做法，但是这次每个乡村为它们的试图捕捉量制定一个统一的条约，并呈交给捕鱼协会。

【注释】

[1] 一旦你读到此章的最后：那么什么是这个博弈可能的均衡呢？

[2] 我在第三版中用的是“策略联合”而不是“策略组合”，但是现在我转而认为“组合”一词更为合适。

[3] 讲述这个故事的另一种方式是：若双方都抵赖，则无论如何双方都判有罪且入狱 10 年的概率仅为 0.1，期望支付是（−1，−1）。

[4] 若结果 X 强帕累托占优于结果 Y，那么所有参与人在结果 X 下有更高的效用。若结果 X 弱帕累托占优于结果 Y，则某些参与人在 X 下有较高的效用，没有参与人的效用会变低。在零和博弈中没有弱帕累托占优的结果。它的所有均衡结果都是帕累托有效的，因为在其他参与人不失去的情况下，没有参与人能够有所得。

通常所说的策略组合 x“帕累托占优”或“占优”于策略组合 y，从字面上讲，这是没有意义的，因为策略没有必要进行排序——一个人完全可以定义抵赖大于坦白，这是随意决定的。这种描述事实上可以简记为“由策略组合 x 得到的支付结果帕累托优于由策略组合 y 所得到的支付结果”。

[5] 本博弈也可以在现实经济中找到类似的例子。“大猪控股”和“小猪有限”都打算引进一种新产品，但为了获得公众的认同，必须花费可观的广告费。因此，如果大猪控股打头阵的话，小猪有限随后跟进也可以分得一杯羹。相反，如果小猪有限贸然先行，那么大猪控股就会后发制人，独霸市场。

[6] 许多博弈论的书中都包括这一博弈删改后的版本，这或许是为了避免不必要的麻烦。本书中采用的是最初的、未删改的博弈。

[7] 这一威胁是不可置信的，该纬线现在处于加拿大大不列颠哥伦比亚省的腹地。

第 2 章
信　息

2.1　博弈的策略式和扩展式

如果说运筹帷幄的一半是料事如神的话，那么另一半则无疑是知己知彼。 40
在第 1 章的大多数博弈里，参与人都被假定为是同时行动的，因此他们没有机会通过观察其他参与人的行动来获得对方的私人信息。但是，一旦参与人依次行动，则信息就成了核心问题。事实上，同时行动博弈和序贯行动博弈之间的重要不同就是，在后者中第二个参与人在决策前就已获得了关于第一个参与人如何行动的信息。

2.1 节展示了如何运用策略式和扩展式来描述序贯行动的博弈。2.2 节展示了扩展式，或称博弈树，是如何用于描述在博弈的每个时点上参与人已知的信息的。2.3 节则依据信息结构对博弈进行了分类。2.4 节展示了如何重构一个具有不完全信息的博弈，从而可以运用海萨尼转换来对其进行分析。这一节还推导了可将参与人的先验信念与参与人在博弈当中所获得的信息结合起来的贝叶斯法则。2.5 节用潘格赔偿博弈（Png Settlement Game）结束这一章，该博弈是现实中复杂的序贯行动博弈的一个例子。

策略式与结果矩阵

依次行动的博弈在表述时必须比单个行动的博弈更为细致。在 1.4 节中我们使用的是 2×2 矩阵形式，在表 2—1 中我们展示的便是用于分级协调

(Ranked Coordination) 博弈的 2×2 矩阵。

表 2—1 **分级协调**

		琼斯		
		大		小
	大	**2，2**	←	−1，−1
史密斯		↑		↓
	小	−1，−1	→	**1，1**

支付：(史密斯，琼斯)。箭头表示参与人如何增加支付。

因为在分级协调中不仅策略与行动是等价的，而且结果也简单，所以表 2—1 中的 2×2 形式就同时完成了将策略组合与支付联系起来和将行动组合与结果联系起来这两项任务。这两项任务的结果分别称为策略式和结果矩阵，但在更为复杂的博弈中，它们是截然不同的。策略式说明的是每一种可能的策略组合所产生的支付情况，而结果矩阵表明的是每一种可能的行动组合所
41 产生的支付情况。在以下定义中，我们以 n 来代表参与人的个数，以 k 来代表结果向量中的变量个数，以 p 来代表策略组合的个数，以 q 来代表行动组合的个数。

策略式 [strategic form，又称**标准式** (normal form)] 由以下二者组成：

(1) 全部可能的策略组合 s^1，s^2，…，s^p。

(2) 由 s^i 映射到 n 维支付向量 $\pi^i(i=1, 2, \cdots, p)$ 上的支付函数。

结果矩阵 (outcome matrix) 由以下二者组成：

(1) 全部可能的行动组合 a^1，a^2，…，a^q。

(2) 由 a^i 映射到 k 维结果向量 $z^i(i=1, 2, \cdots, q)$ 上的结果函数。

考虑下述由分级协调演变而来的博弈。我们将称之为跟随领头羊 I，因为我们还将陆续介绍这一博弈的另外几种变形。这一博弈与分级协调的不同之处在于史密斯首先采取行动，即承诺自己将采用某一种软驱规格，而不管琼斯将会选哪一种。新的博弈有着与分级协调如出一辙的结果矩阵，但其策略式却有所不同，因为琼斯的策略不再只是单一的行动，琼斯策略集此时有四个元素：

$$\begin{Bmatrix}
(\text{若史密斯选择大，则选择大；若史密斯选择小，则选择大}) \\
(\text{若史密斯选择大，则选择大；若史密斯选择小，则选择小}) \\
(\text{若史密斯选择大，则选择小；若史密斯选择小，则选择大}) \\
(\text{若史密斯选择大，则选择小；若史密斯选择小，则选择小})
\end{Bmatrix}$$

我们不妨将其缩写为：

$$\begin{Bmatrix}(L \mid L,\ L \mid S) \\ (L \mid L,\ S \mid S) \\ (S \mid L,\ L \mid S) \\ (S \mid L,\ S \mid S)\end{Bmatrix}$$

跟随领头羊 I 表明，只要添加一点点复杂性，就将使得策略式的表述变得如此晦涩难懂，以至于几乎没有用武之地。策略式在表 2—2 中给出，均衡以黑体字 E_1、E_2、E_3 标明。

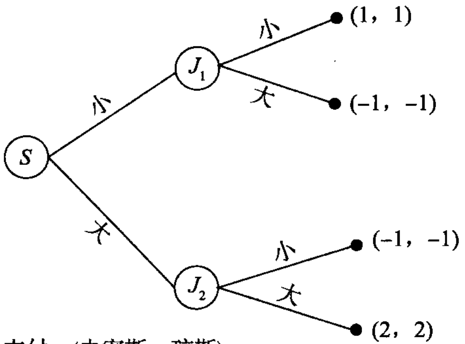
表 2—2　　跟随领头羊 I 42

		琼斯			
		J_1 L/L，L/S	J_2 L/L，S/S	J_3 S/L，L/S	J_4 S/L，S/S
史密斯	S_1：大	**2**，**2**（E_1）	**2**，**2**（E_2）	−1，−1	−1，−1
	S_2：小	−1，−1	1，1	−1，−1	**1**，**1**（E_3）

支付：（史密斯，琼斯）。最佳反应支付列在方框中（如果是弱的，则用虚线框）。

均衡	策略	结果
E_1	[大，$(L \mid L,\ L \mid S)$]	双方都选择大
E_2	[大，$(L \mid L,\ S \mid S)$]	双方都选择大
E_3	[小，$(S \mid L,\ S \mid S)$]	双方都选择小

考虑一下为何 E_1、E_2 和 E_3 是纳什均衡。在均衡 E_1 中，无论史密斯选择什么，琼斯都将以不变应万变——选择大，因此史密斯自然乐于选择大。如果史密斯首先选择了小，琼斯选择大就会显得非理性，但是这种情况在均衡下是决不会发生的。在均衡 E_2 中，无论史密斯选择什么，琼斯都会效仿，因此史密斯将选择大来使支付由 1 变为 2。在均衡 E_3 中，因为史密斯确信琼斯无论如何都会选择小，所以他只得选择小；而琼斯自然乐于选择小，因为在均衡时史密斯会选择小。均衡 E_1 和 E_3 并非无懈可击，因为只要博弈进行到了琼斯必须参与的节点，无论他采取策略大｜小（标记为 E_1）还是小｜大（标记为 E_3），都会降低他的支付。但是除了在与图 2—1 相关的内容中对此有少许讨论外，我们将等到第 4 章再去详细讨论如何对均衡概念加以再定义，以剔除如 E_1 和 E_3 的均衡。



支付：(史密斯，琼斯)。

图 2—1　跟随领头羊 I 的扩展式

博弈顺序

43 标准式很少应用于复杂的博弈建模。在 1.1 节，我们已经看到了一种对序贯博弈建模的更简便的方式：依据博弈顺序。对于跟随领头羊 I，我们有：

1. 史密斯选择大或者小。
2. 琼斯选择大或者小。

在新版本中保留标准式概念的原因在于，它强化了列举所有可能的策略并对这些策略的支付进行比较这个想法。然而，博弈顺序提供了一种描述博弈的更好的方式，我将在下面的内容中进行解释。

扩展式和博弈树

描述一个博弈的另外两种办法就是扩展式与博弈树。我们首先需要定义它们的构成要素。当你阅读定义时，不妨参考图 2—1。

结（node）是指在博弈中某一参与人或自然采取行动的时点，或者博弈结束的时点。

结 X 的**后续结**（successor）是指在已经到达 X 之后才有可能在随后的博弈中到达的结。

结 X 的**前续结**（predecessor）是指在可能到达 X 之前必须到达的结。

起始结（starting node）是指不存在前续结的结。

终点结（end node）或**终点**（end point）是指不存在后续结的结。

枝（branch）指在一个特定结上某一参与人的行动集中的一个行动。

路径（path）指从起始结到终点结由结和枝所组成的系列。

扩展式（extensive form）是对博弈的一种描述，它由下述几点组成：

1. 由结和枝所组成的整体结构，即由单个起始结开始直至终点结，中间无闭合的圈。

2. 有对哪个结属于哪个参与人的说明。

3. 在自然作选择的结上，有自然选择不同枝的概率。

4. 有划分每个参与人的结的信息集。

5. 在每一个终点结上都有对每一个参与人的支付。

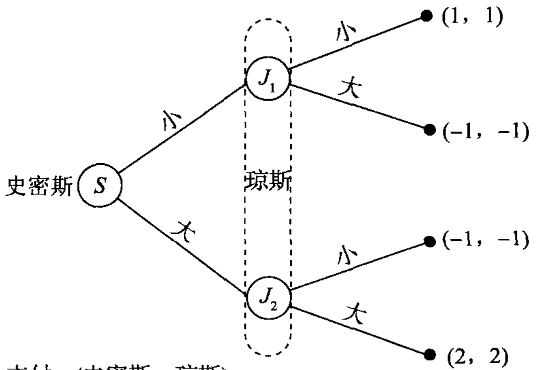
博弈树（game tree）除第 5 点以外与扩展式都是一样的。在博弈树中，第 5 点变为：

5′. 在每一个最终结上都有结果。

"博弈树"是一个比"扩展式"更为灵活的术语，如果结果被定义为支付组合，对每个参与人都有一个支付，那么博弈树与扩展式并无二致。

图 2—1 给出了跟随领头羊 I 的扩展式。我们可以看出为何即使表 2—2 中的 E_1 和 E_3 是纳什均衡，它们仍不尽如人意。如果博弈实际抵达了结 J_1 或 J_2，琼斯将会有优势行动，即在 J_1 处为小，在 J_2 处为大；但是在这些结处， 44
均衡 E_1 和 E_3 设定了其他的行动。我们将在第 4 章重新考察这一博弈，看看如何对纳什均衡加以精炼，以使 E_2 成为唯一的均衡。

图 2—2 给出的分级协调的扩展式表述在跟随领头羊 I 的扩展式中添加了虚线。每一个参与人都在两个行动间选择。行动是"同时"的，我们是通过让史密斯先采取行动，却不让琼斯知道他采取了何种行动来实现这一点的。虚线表明琼斯的知识在史密斯行动后仍保持不变。琼斯所知道的仅仅是博弈已到达了由虚线所定义的信息集内的某一个结，但至于到底到达了哪个结，他一无所知。



支付：(史密斯，琼斯)。

图 2—2 分级协调的扩展式表述

时间线

时间线（time line）是一条表明事件发生顺序的线，是描述博弈的另一种方法。时间线在描述下述几种博弈时格外有用：存在连续策略的博弈、存在信息的外生抵达的博弈以及多期博弈。在会计学和财务学文献中经常使用的博弈里也能发现时间线。图 2—3（a）所描述的是一条典型的时间线，它所代表的博弈将在 11.5 节中进行描述。

时间线表明的是行动与事件的顺序，而不一定是时间的流逝。某些事件是立刻发生的，某些却可能在一段时间间隔以后才发生。在图 2—3（a）中，事件 2 和 3 都是在事件 1 之后立刻发生的，但是事件 4 和 5 也许在 10 年后才发生。有时，我们称制定决策的顺序为**决策时间**（decision time），而称实际行动的间隔为**真实时间**（real time）。一个主要的不同就在于参与人对于在较早的真实时间获得的支付会有较高的评价，这是由于时间偏好的缘故（这一点请参见附录）。

在建模时一个常见的坏习惯就是将时间线上时期的使用严格限定为分隔以真实时间计算的事件。在图 2—3（a）中，事件 1 和事件 2 以真实时间而论并未严格隔开——企业家一旦获悉项目的价值，便立即试图拍卖股份。建模者也许会愚蠢地将他的模型用如图 2—3（b）的形式表述，在图 2—3（b）中，事件 1 和事件 2 都是在时期 1 发生的。图 2—3（b）画得不好，因为读者可能会搞不明白到底哪个事件先发生或者说它们本来就是同时发生的。在不
45 止一次的讨论中，我们都会发现，事前用 10 秒钟对事件的顺序加以清楚勾勒，就可以避免一场 20 分钟激烈且混乱的争论。

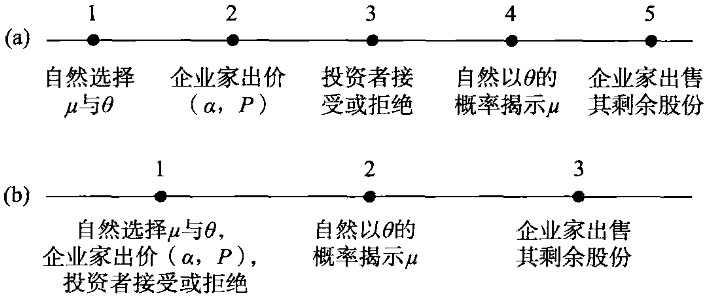


图 2—3　拍卖股份博弈的时间线：(a) 较好的时间线；(b) 较差的时间线

2.2 信息集

如同它的行动顺序一样，一个博弈的信息结构在策略式表述中也经常会变得含混不清。在水门事件中，令参议员贝克名闻天下的问题便是——“总统到底知道多少，他是什么时候知道的?”而这些问题不仅在上述丑闻中是至关重要的，在博弈中也一样。但是，我们需要技术性的定义才能把它表达得更为精确，才能搞清楚谁在什么时候知道什么。这一点是通过将“信息集”定义为知识的基本单元来实现的，而“信息集”指的就是参与人认为博弈可能已到达的结的集合。

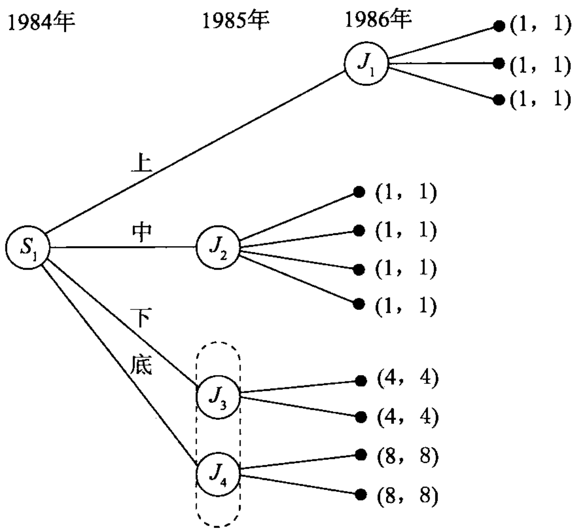
*参与人 i 在博弈的任何特定时点上的***信息集**（information set）ω_i *是指在博弈树中他认为有可能是实际结的不同结的集合，而参与人 i 靠直接观察是无法加以区分的。*

如此处所定义的，参与人 i 的信息集是指属于该参与人，但却在不同路径上的结的集合。这其实表达了这样一个意思：i 知道现在是该谁行动了，但却不知道博弈已到达了博弈树中的哪个具体位置。过去，参与人 i 的信息集曾被定义为仅包括该参与人 i 行动的结，这对于单个人决策理论是可以的，但对于有两个或多个参与人的其他大多数博弈而言，这样做就使得参与人的知识未被很好地定义。较为宽泛的定义允许比较参与人之间的信息（而这一比较在旧定义中就好比把苹果和橘子相比较一样）。

在如图 2—4 所示的博弈中，史密斯于 1984 年在结 S_1 行动，而琼斯则于 1985 年或 1986 年在结 J_1、J_2、J_3 和 J_4 行动。史密斯知道他自己的行动，但琼斯只知道史密斯是选择了导致 J_1、J_2 的行动，还是选择了导致“其他”的行动，即他在 J_3 和 J_4 之间是无法区分的。若史密斯选择了导致 J_3 的行动，他自己的信息集就仅是 $\{J_3\}$，但琼斯的信息集却是 $\{J_3, J_4\}$。

在图中表示信息集的一种方法是，把属于同一信息集的结分别用虚线圈起来，或者用虚线把它们连起来，这样做可能会使图显得散乱，因此，直接用虚线把在作选择的参与人的信息集整个圈起来也许更为方便。在图2—4中，虚线表示对于琼斯而言，J_3 和 J_4 在同一信息集当中——虽然对史密斯而言 J_3 和 J_4 是在不同的信息集当中。依据这些图的样子，我们可以把信息集称为**“云”**（cloud），可以说结 J_3 和 J_4 是在同一片云中，因此，虽然琼斯知道博弈已经到了哪片云，他却不能拨开迷雾来弄清到底抵达了哪个结。 46

一个结不能分别属于同一参与人的两个不同信息集。如果结 J_3 既属于信息集 $\{J_2, J_3\}$，又属于信息集 $\{J_3, J_4\}$（与图 2—4 不同），那么若博弈抵



参与人：(史密斯，琼斯)。

图 2—4　信息集与信息分割

达了 J_3，琼斯将无法区分他到底是在 $\{J_2, J_3\}$ 中的一个结上，还是在 $\{J_3, J_4\}$ 中的一个结上——这也就意味着它们实际上是同一个信息集。

如果在琼斯的一个信息集中的全部结都是他应选择行动的结，那么在每个结处他的行动集都必须是相同的，因为他对于自己的行动集了如指掌（虽然他的行动在随后的博弈中可能会因他是选择了 J_3 还是 J_4 而有所不同）。琼斯在结 J_3 和 J_4 处的行动集是一样的，因为如果他在 J_3 处有某一不同的可选行动，那么他就会明白自己是在 J_3 处，从而他的信息集也就缩减为 $\{J_3\}$。基于同样的原因，结 J_1 和 J_2 不能被置于同一个信息集中，因为琼斯对自己的行动集中是有三种可选行动还是有四种可选行动一清二楚。我们还要求终点结应在一个参与人的不同信息集中，如果它们对该参与人产生了不同支付的话。

与这些要求相一致，我们在博弈的信息结构中也不包括任何需要参与人的理性推演才能获得的信息。例如在图 2—4 中，史密斯会选择“底”这一点是很明显的，因为那是一个优势策略——无论琼斯怎样做，他的支付都是 8 而选“下”则只能得到 4。琼斯应该能够推断出这一点，但即使这是无可置疑的推断，它也仍是推断而非观察，因此，博弈树中并不能把 J_3 和 J_4 划入不同的信息集。

47 信息集也可以表示出自然的不可观测行动的影响。在图 2—4 中，如果最初行动的不是史密斯而是自然，那么琼斯的信息集仍会原样照画。

参与人 i 的**信息分割**（information partition）是他的一组信息集的集合，使得：

（1）每条路径都由划分中的一个信息集中的一个结表示；

（2）在一个信息集中的全部结的前续结都在同一个信息集里。

信息分割表示了参与人所知道的他在博弈的给定阶段能够区分的不同位置，因此就将全部可能结的集合切割为被称作信息集的子集。史密斯的一个信息分割是（$\{J_1\}$，$\{J_2\}$，$\{J_3\}$，$\{J_4\}$）。定义将信息集 $\{S_1\}$ 排除在这个划分之外，因为通过 S_1 和 J_1 的路径将被两个结表示。相反，$\{S_1\}$ 自身就是一个单独的信息分割。信息分割指的是博弈的一个阶段而非按照先后排序的时间。信息分割（$\{J_1\}$，$\{J_2\}$，$\{J_3, J_4\}$）既包括 1985 年的结，也包括 1986 年的结，但它们都是结 S_1 的直接后续结。

琼斯的信息分割是（$\{J_1\}$，$\{J_2\}$，$\{J_3, J_4\}$）。有两种办法可以看出琼斯的信息要逊于史密斯的。第一种办法是看琼斯的一个信息集 $\{J_3, J_4\}$，包含有比史密斯的信息集更多的元素这一事实。另一种办法是看琼斯的一个信息分割（$\{J_1\}$，$\{J_2\}$，$\{J_3, J_4\}$），包含有更少的元素。

表 2—3 给出了这一博弈的许多不同信息分割，划分 Ⅰ 是史密斯的划分，而划分 Ⅱ 是琼斯的划分。我们说划分 Ⅱ 是**较粗的**（coarser），而划分 Ⅰ 是**较细的**（finer）。将两个或多个信息集组合在一个划分中，若减少了信息集的数目且增加了在其中一个或多个信息集中的结的个数，则称这样做为**粗化**（coarsening）。反之，将两个或多个信息集组合在一个划分中，若增加了信息集的数目且减少了在其中一个或多个信息集中的结的个数，则称这样做为**精炼**（refinement）。因此，划分 Ⅱ 是划分 Ⅰ 的一个粗化，而划分 Ⅰ 是划分 Ⅱ 的一个精炼。精炼的极致是每个信息集都成为**单结的**（singleton）* ——只包含一个结——如划分 Ⅰ 的情况。正如打桥牌一样，单结的情况对于参与人来说既可能有益也可能有害。粗化的极致是参与人在任何结之间都无法区分，就像表 2—3 中的划分 Ⅲ 一样。[1]

表 2—3 **信息分割**

结	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
J_1	$\{J_1\}$	$\{J_1\}$	$\{J_1, J_2, J_3, J_4\}$	$\{J_1, J_2, J_3\}$
J_2	$\{J_2\}$	$\{J_2\}$		
J_3	$\{J_3\}$	$\{J_3, J_4\}$		
J_4	$\{J_4\}$			$\{J_4\}$

* singleton 的另一个意思是指桥牌里的单张。——译者注

48 一个更细的信息分割是对“更好信息”的正式定义。然而，并非全部信息分割都是互为粗化或精炼的，因此并非全部信息分割都可以根据信息质量来排序。值得注意的是，一个信息分割仅仅包括更多的信息集并不意味着它是另一个信息分割的精炼。考虑表 2—3 中的划分Ⅱ和划分Ⅳ。划分Ⅱ将结分成了三个信息集，而划分Ⅳ仅将它们分成了两个信息集。但是，划分Ⅳ并非划分Ⅱ的粗化，因为靠对划分Ⅱ中的信息集进行组合是无法得到划分Ⅳ的，因此不能说具有划分Ⅳ的参与人有着更差的信息。如果到达的结是 J_1，那么划分Ⅱ的确给出了更精确的信息，但若抵达的结是 J_4，则划分Ⅳ给出的信息更为准确。

信息的质量是独立于其对参与人的效用的：有可能出现参与人的信息改善但他的均衡支付却下降的情况。博弈论中有许多悖论式的模型，在那些模型中，参与人宁可拥有更差的信息。这当然不是幻想、逃避现实或喜不自胜的结果，这样做完全是出于冷静的理性考虑。较劣的信息会占到不少便宜。(a) 它可以使得参与人能够和别的参与人做买卖，因为别人不必害怕他可能具有的优势信息。(b) 它可以使得参与人处于更为有利的战略地位，因为在不知道在博弈的某一特定实现中他会吃亏的情况下，他反而常常处于更有利的地位并从中获益。或者 (c) 像在更为传统的不确定性经济学中那样，较差的信息使得参与人之间有可能相互保险。

对前两点的讨论将被放到后续章节中进行——较差信息的策略优势（如果没有耐心，可以直接看 6.3 节中的进入威慑模型和第 9 章中的旧车市场模型）。但是关于保险那一点最好在此处讨论。考虑接下来的例子，它将说明即使信息是对称的且行为是非策略性的，从更优的信息分割的意义上而言，更好的信息也有可能会在实际上造成博弈中全体参与人效用的降低。

假设史密斯和琼斯都是风险规避的，都为同一雇主工作，而且都知道在年底其中一人会被随机性地解雇而另一人则会被提升。被解雇者一贫如洗，最终财富是 0；而未被解雇者则会飞黄腾达，最终财富为 100。史密斯和琼斯将同意以“均贫富”的形式来相互保险，即同意无论谁被提升都应分一半财富给被解雇的一方。最终每个人都可以保证得到的效用为 $U(50)$。若在他们达成协议之前有人告诉他们被解雇的到底是谁，他们应对此充耳不闻。对他们信息的这一优化会使两人的境况在期望意义上都变差，因为它会彻底破坏他们共同达成的保险安排。一旦他们知道谁将被解雇，就不可能达成均贫富的协议。如果他们都是风险规避者，在没有保险且有人告知他们将发生什么的情形下，每个人的期望效用为 $0.5\times U(0)+0.5\times U(100)$，这小于 $1.0\times U(50)$。他们更喜欢事先不知道谁被解雇，因为好的信息将使两个参与人的期

望效用都降低。

共同知识

我们已经隐含地假定了参与人知道博弈树是什么样子的。事实上，我们也假定参与人还知道其他参与人知道博弈树的样子。“共同知识”这一术语便是用于避免此类文字上的无穷循环推演。 49

*如果某一信息是所有参与人都知道的，每个参与人都知道所有参与人知道这一信息，每个参与人都知道所有参与人知道所有参与人知道这一信息，且如此这般直至无穷，那么这一信息便称为***共同知识**（common knowledge）。

由于这一循环推演（其重要性可参见 6.3 节），共同知识的假定要强于参与人对他们处在博弈树中何处有相同信念的假定。赫什莱弗和赖利（Hirshleifer and Riley）的著作中（1992，p. 169）使用了**和谐信念**（concordant beliefs）这一术语来描述这样一种情形——参与人对于自然已选择的世界的不同状态的概率有着相同的信念，但他们并不必知道他们有着相同的信念。（布兰登布格尔（Brandenburger，1992）用**共有知识**（mutual knowledge）这个词表达了相同的意思。）

为明确起见，模型在建立时都应使信息分割成为共同知识，每个参与人都应知道其他参与人信息的准确程度，尽管他自己可能还搞不清楚博弈已进行到了哪个节点。在这种建模方式之下，信息分割是独立于均衡概念的。将信息分割变为共同知识对于简化建模是十分重要的，它将可被模型化的博弈的种类限制得比人们想象的要少。这一点将在 2.4 节说明，在该节中，将对参与人甚至不知道他在进行三种博弈中的哪一种的情形施加假定。

2.3 完美信息、确定信息、对称信息与完全信息

我们对博弈的信息结构可用四种不同的方式加以分类，因此一个特定博弈可能同时具有完美、确定、对称和完全信息。这些种类总结于表 2—4 中。

表 2—4　信息种类

信息种类	含　义
完美（perfect）	每个信息集都是单结的
确定（certain）	自然不在任一参与人行动之后行动
对称（symmetric）	没有参与人在行动时或在终点结处有与其他参与人不同的信息
完全（complete）	自然不首先行动，或它的最初行动能被每个参与人观察到

第一种划分将博弈分成具有完美信息的和不完美信息的两类。

在**完美信息**（perfect information）博弈中，每个信息集都是单结的。否则该博弈就是**不完美信息**（imperfect information）博弈。

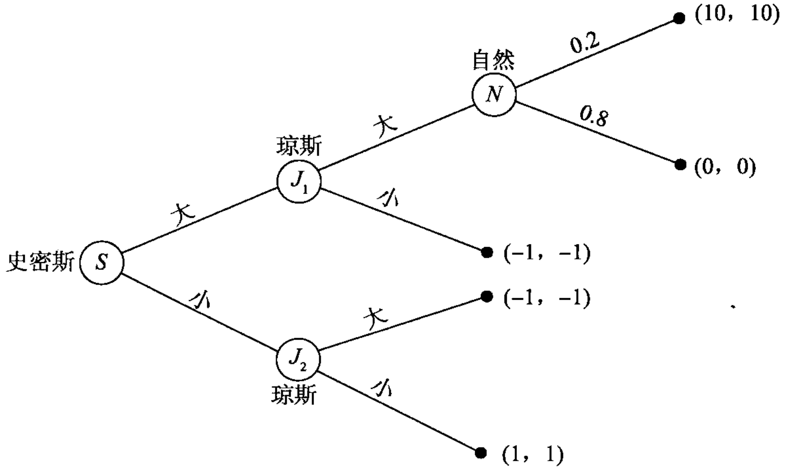
50 完美信息博弈满足了对于信息的最强要求，因为在这样一类博弈中，每个参与人对于自己置身于博弈树中的哪个位置总是一清二楚，没有行动是同时进行的，且所有参与人都观察到了自然的行动。分级协调是一个不完美信息博弈，因为它的行动是同时进行的，但是跟随领头羊Ⅰ却是一个完美信息博弈。任何具有不完全或不对称信息的博弈也是不完美信息博弈。

在**确定性**（certainty）博弈中，在任一参与人行动之后，就再也没有自然的行动了。否则这一博弈为**不确定性**（uncertainty）博弈。

在一个不确定性博弈中，自然的行动可能会也可能不会立即昭示于参与人。如果一个确定性博弈中不存在同时行动的话，它就会变成完美信息博弈。“不确定性博弈”这个词是在本书中首次出现的，但我并不认为它会使人感到惊奇。定义中唯一值得注意之处就是，确定性博弈是允许自然首先行动的，因为在不完全信息博弈中，自然首先行动来挑选参与人的“类型”（type）。大多数建模者都不认为这种情形具有不确定性。

我们已经讨论了分级协调中的信息状况，发现它是一个有着不完美但完全且对称信息的确定性博弈。囚徒困境也属于同一类。跟随领头羊Ⅰ因为不存在同时行动，所以是一个完美、完全、对称信息的确定性博弈。

我们可以容易地修改跟随领头羊Ⅰ，在其中加入不确定性，如此得到的模型称为跟随领头羊Ⅱ（见图2—5）。假定如果两个参与人都将磁盘的规格选



支付：(史密斯，琼斯)。

图2—5　跟随领头羊Ⅱ

为大，那么市场将视需求状况，要么产生零利润，要么产生极高利润，但是需求将不会影响在任何其他策略组合下的支付。我们可以将上述说法作如下定量化——若选择了（大，大），则支付有 0.2 的概率为（10，10），有 0.8 的概率为（0，0），如图 2—5 所示。

当参与人面临不确定性之时，我们需要规定他们是如何评价未来的不确定支付的。模型化他们行为的一个显而易见的方法就是，假定参与人是最大化他们效用的期望值。这样做的参与人称为具有**冯·诺伊曼-摩根斯顿效用函数**（von Neumann-Morgenstern utility functions），这样命名是为了纪念冯·诺伊曼和摩根斯顿对这种行为的准确定义所作的贡献（von Neumann & Morgenstern，1944）。 *51*

最大化期望效用的参与人行为与在跟随领头羊 I 中的行为并无二致。通常，只要去掉自然的行动并且将支付变成基于自然行动概率的期望值，就可以将不确定性博弈变为确定性博弈，而且不会改变均衡。此处，我们可以去掉自然的选择，并将支付 10 和 0 变成单个支付 2(＝0.2×10＋0.8×0)。但是，如果参与人的可行行动取决于自然的选择，或者如果关于自然行动的信息是不对称的，那么就不能这样做。

图 2—5 中的参与人既可能是风险规避的，也可能是风险中性的。风险规避已隐含地融入到支付当中，因为支付单位是效用，而非美元。当参与人最大化他们的期望效用时，他们并不一定在最大化其期望美元收益。此外，参与人在如何将货币收入转变为效用上也会有所不同。（0，0）代表（0 美元，5 000 美元），（10，10）代表（100 000 美元，100 000 美元），而期望效用（2，2）等价于无风险的（3 000 美元，7 000 美元），以上三者都是可以的。

在**对称信息**（symmetric information）博弈中，任一参与人在任何他应选择行动的结或者终点结处的信息集，都至少包含与其他每个参与人的信息集相同的元素。否则，该博弈就是**不对称信息**（asymmetric information）博弈。

在不对称信息博弈中，参与人的信息集要么在与参与人行为相关的方式上有所不同，要么在博弈的终点处有所不同。这样的博弈也是不完美信息博弈，因为在参与人之间有所不同的信息集不可能是单结的。在本书中首先使用的“不对称信息”的这一定义是用于说明当今常常被运用却又含混不清的一种含义。其实，不对称信息的要害在于某一参与人拥有有用的**私人信息**（private information），即一种不同于且不劣于其他任何参与人的信息分割。

在对称信息博弈中既可以有自然的行动，也可以有同时行动，但是没有一个参与人有哪怕一点点信息优势。信息可能会不同的一种情况是，不行动

的参与人有较多的信息，因为他知道自己过去的行动是什么，比如两个参与人同时行动的时候。这种信息对于拥有它的参与人而言无济于事，因为根据定义它已经不能影响他的行动了。

如果信息集在博弈的终点处有所不同，那么这个博弈也被称为不对称信息博弈，因为我们习惯性地将此类博弈看成信息在其中有所不同的博弈，即使在终点结后已经没有参与人采取行动了。第 7 章中的委托—代理模型就是一个例子。委托人首先行动，随后是代理人，最后是自然。代理人自然可以观察到代理人的行动，但委托人却不能，虽然他也许可以推断出来。如果排除在终点信息结处信息仍然不同这一事实，这一博弈就将是一个对称信息博弈。

*在***不完全信息**（incomplete information）*博弈中，自然首先行动且它的行动至少对某一参与人来说是不可观测的。否则，该博弈就是一个***完全信息**（complete information）*博弈。*

52 一个具有不完全信息的博弈也具有不完美信息，因为某个参与人的信息集必然包含有多于一个的节点。有两种博弈是具有完全但不完美信息的——同时行动的博弈，自然在博弈的后期才行动且这一行动并非立即被所有参与人知晓的博弈。

许多不完全信息博弈都是不对称信息博弈，但这两个概念并不等价。若不存在自然的首先行动，但史密斯采取了不为琼斯所知的行动且史密斯在随后的博弈中又行动了，则这一博弈具有不对称但完全的信息。第 7 章中的委托—代理博弈也是这样的例子：代理人知道自己干得有多卖力，但委托人并不知晓，即使到了终点结处也不知道。博弈也可以具有不完全但对称的信息：让自然首先行动，且这一行动是任一参与人都无法观察到的，自然将囚徒困境中（坦白，坦白）的支付选择为（−6，−6）或者（−100，−100）。

在哈里斯和霍姆斯特龙（Harris and Holmstorm，1982）的著作中有一个更为有趣的关于不完全但对称信息的例子。在那个例子中，自然赋予工人们不同的能力，但当工人年轻时，无论是雇主还是工人自己都不知道他们的能力。随着时间的流逝，能力变成了共同知识，而且若工人是风险规避的，而雇主是风险中性的，则模型表明均衡工资要么是恒定的，要么随时间的推移上升。

信息分类的扑克牌例子

在下面的扑克牌博弈中，参与人赌最后谁能摸到最好的牌，摸牌的顺序是事先定好的。如何分类在下注之前的下述行为规则？（答案可见章末

注 N2.3。)

(1) 所有的牌都被洗成面朝上。

(2) 所有的牌都被洗成面朝下且参与人在下注前甚至不能看自己的牌。

(3) 所有的牌都被洗成面朝下且参与人只能看他自己的牌。

(4) 所有的牌都被洗成面朝上，但每个参与人随后都可以用手护住并悄悄丢掉一张牌。

(5) 所有的牌都被洗成面朝上，接着参与人下注，然后每个参与人再得到一张面朝上的牌。

(6) 所有的牌都被洗成面朝下，但随后每个参与人都抓起他的牌但并不看牌，接着把牌举过头顶，以使所有其他参与人都能看清他的牌（印第安扑克）。

2.4 海萨尼转换与贝叶斯博弈

海萨尼转换：跟随领头羊Ⅲ

“不完全信息”这一术语通常没有明确的定义，但在文献中以两种完全不同的意义被使用着。在 2.3 节中的定义是经济学家们通常使用的，但若要问到如何定义这一术语，他们也许就会提出下述较老的定义。

较老的定义

*在完全*__信息博弈__*(complete information) 中，全体参与人都知道博弈的规则。否则这一博弈就是一个*__不完全信息博弈__*(incomplete information)。* 53

较老的定义实用性不大，因为若博弈未准确说明参与人的信息集是什么，则这个博弈本身的定义就有问题。直到 1967 年，博弈论学者们一提到不完全信息博弈，所能指出的仅仅是它们是不可分析的。1967 年，海萨尼指出，所有在老定义下具有不完全信息的博弈都可以在不改变其精髓的情况下被重新模型化为一个完全但不完美的信息博弈，这一切只需要添加一个由自然在不同规则的集合中进行选择的初始行动即可。在转换后的博弈中，所有参与人都知道新的可变的规则，包括自然已做了不为他们所知的初始行动这一事实。海萨尼的创见使得不完全信息的定义变得易于操作，因而人们开始使用这一术语来指代转换后的博弈。在老定义之下，一个不完全信息博弈转化为一个完全信息博弈。在新定义之下，原始的博弈就被认为是误定义了，转换后的才是一个不完全信息博弈。

跟随领头羊Ⅲ便是用于说明海萨尼转换的。令琼斯对博弈的支付并不十

分清楚，但是他对于支付还是有一定的了解的，我们用一个主观概率分布来表示他的信念。他认为进行的博弈是图 2—6 中的博弈（A）（这与跟随领头羊Ⅰ是一样的）的概率为 70%，是博弈（B）的概率为 10%，而是博弈（C）的概率则为 20%，事实上，这个博弈信息有一个特定的支付集合，且史密斯知道它们是多少。这个博弈具有不完全信息（琼斯不知道支付）和不对称信息（当史密斯行动的时候，他知道一些琼斯所不知道的信息），但具有确定性（自然不在参与人行动之后行动）。

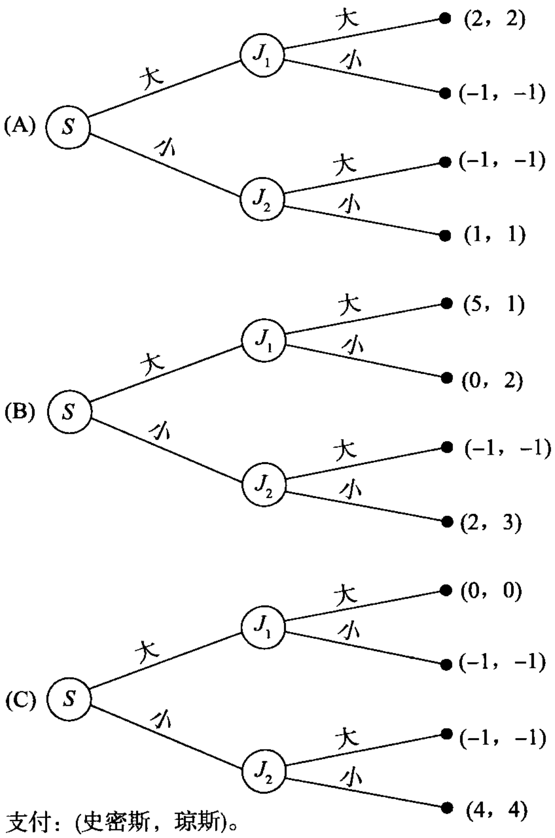
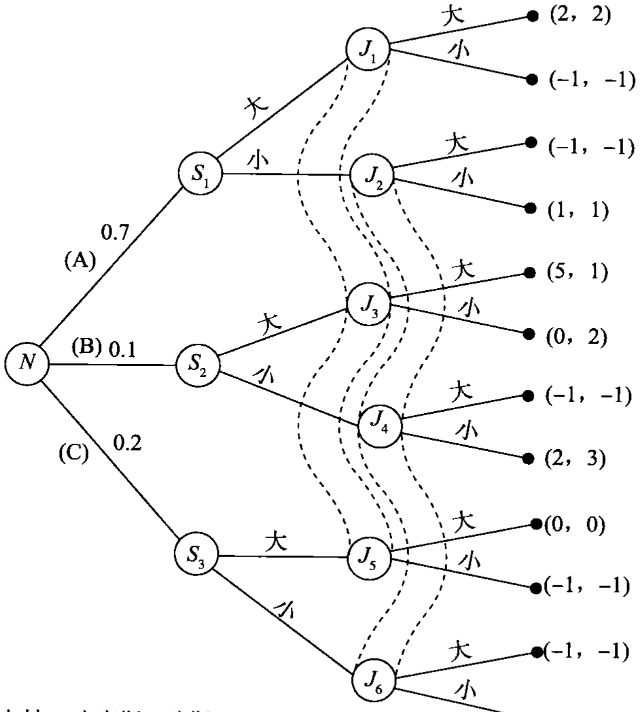


图 2—6　跟随领头羊Ⅲ：原博弈

此博弈不能以如图 2—6 所示的形式来加以分析。处理这样一个博弈的自然方法是使用海萨尼转换。我们可以把这个博弈重新模型化为图 2—7 的样子。其中，自然首先行动来选择由博弈（A）、（B）或（C）给出的支付，依据的概率与琼斯的主观概率一致。史密斯观察到了自然的行动，但琼斯没有。图 2—7 勾勒的博弈与图 2—6 相同，但现在我们能够分析它了。史密斯和琼斯都知道博弈的规则，他们的区别只在于史密斯已观察到了自然的行动。自

然实际上是按指定的概率选择行动还是仅仅只是琼斯的猜想都无关紧要，只要琼斯的初始信念或猜想是共同知识就可以了。



支付：(史密斯，琼斯)。

图 2—7　跟随领头羊Ⅲ：在海萨尼转换之后

自然在博弈之初所选择的常常是某一参与人的策略集、信息分割和支付函数。我们说这一参与人可以是若干“类型”中的任意一类，这一术语我们在后续章节中还会碰到。当自然行动时，尤其是当它影响了全体参与人的策略集与支付的时候，我们常称之为自然已经选择了特定的“世界状态”。在图 2—7 中，自然选择的世界状态是（A）、（B）或（C）。

参与人的**类型**（type）是指他的策略集、信息分割和支付函数，在不完全信息博弈中，这些都是由自然在博弈之初的选择决定的。

世界状态（state of the world）就是自然的行动。

正如我已经说过的，假定博弈的结构是共同知识，这是一种良好的建模 54
习惯。如果你这样做了，那么，尽管自然对史密斯类型的选择也许真的正好代表了琼斯对史密斯可能类型的猜测，史密斯仍然知道琼斯的可能猜测是什么，而且琼斯也知道这些猜测仅仅是猜测。参与人的信念也许会不尽相同，但这一点已被作为他们观察到不同的自然行动的后果而模型化了。所有参与

人在博弈一开始对于自然将要作出的不同行动的概率都有相同的信念——用我们稍后将介绍的一个术语来说，即有相同的先验概率。这一建模假设被称为**海萨尼教义**（Harsanyi doctrine）。如果建模者遵循了这一原则，那么他的模型就永远不会出现两个参与人的信息完全相同，但他们对于自然在过去和将来行动的概率的看法却大相径庭的情况。例如，一个模型不能在一开始就说德国相信它打赢一场与法国的战争的概率是0.8，而法国相信这一概率只有0.4，因此它们都急欲一战。恰恰相反，它必须假定信念在开始时是一致的，随后因为私人信息而产生分歧。例如，两个参与人都认为德国获胜的概率是0.4，但若德国的施密特将军是个军事天才，则这一概率上升为0.8，而且随后德国人发现施密特的确是个天才。如果法国抢先宣战，那么法国的错误信
55 念可能会导致一场战争，而若德国能令人信服地表明它对施密特是天才拥有私人信息，则这场战争本可避免。

海萨尼教义的一个隐含的意思是说，参与人对于自己的猜测至少是少许公开的。如果德国声称它乐于打仗，那么法国就必须考虑德国已发现了施密特的天才的概率并更新德国会赢的概率（别忘了德国可能会虚张声势）。我们的下一个主题便是，参与人如何依据接收到的新信息来更新其信念，这到底是通过对自然的直接观察，还是通过观察另一可能具有更多信息的参与人的行动来实现的呢？

使用贝叶斯法则来更新信念

当我们对一个博弈的信息结构进行划分的时候，我们并不试图决定一个参与人能从其他参与人的行动中推断出什么。当看到史密斯选择了大的时候，参与人琼斯也许会推断出自然已选择了状态（A），但是我们在图2—7中画琼斯的信息集时并未将这一点画出。在画博弈树的时候，我们所要表达的仅仅是未受到均衡概念影响的博弈的外生元素。但是要找出均衡，我们的确需要仔细考虑信念在博弈的过程中是如何变化的。

博弈规则的一部分是不同参与人所持有的**先验信念**（prior beliefs）或**先验概率**（priors），以及他们在博弈的过程中更新的信念的集合。一个参与人
56 持有关于其他参与人类型的先验信念，而且，当他观察到他们的行动后，他便假定他们在遵循着均衡行为，从而更新自己的信念。

贝叶斯均衡（Bayesian equilibrium）这一术语是用于指参与人按照贝叶斯法则来更新信念所形成的纳什均衡。因为贝叶斯法则是处理不完美信息的自然且标准的办法，所以“贝叶斯”这个修饰语其实是可有可无的。验证纳什均衡的两步法现在已经变成了三步法：

(1) 提出一个策略组合。

(2) 考虑当参与人根据彼此的行动更新他们的信念时，策略组合产生了什么信念。

(3) 给定这些信念以及其他参与人的策略，验证每个参与人是否为自己选择了最佳反应。

博弈的规则规定了每个参与人的初始信念，而贝叶斯法则则是更新信念的理性方法。例如，令琼斯一开始有一特定的先验概率，Prob(自然选择了(A))。在跟随领头羊Ⅲ中，这等于0.7。然后他观察到了史密斯的行动也许是大。看到大应使得琼斯将先验信念更新为**后验信念**（posterior belief），Prob(自然选择了（A)|史密斯选择了大)。此处的“|”记号表示“在……的条件下”或是“给定……”。

贝叶斯法则表明了在考虑到诸如史密斯采取的行动之类的新信息的条件下，如何修正先验信念。它使用了两方面的信息，一是在自然选择了世界状态为（A）的条件下发现史密斯选择大的可能性，Prob(大|(A))；二是自然未将世界状态选为（A）的条件下发现史密斯选择大的可能性，Prob(大|(B)或(C))。利用这些数据，琼斯可以算出Prob(史密斯选择了大)，这称为在自然选择了世界的某种可能状态的条件下发现大的**边际概率**（marginal likelihood）。

$$\begin{aligned}\text{Prob}(\text{史密斯选择了大}) = &\text{Prob}(\text{大}|A)\text{Prob}(A)\\ &+\text{Prob}(\text{大}|B)\text{Prob}(B)\\ &+\text{Prob}(\text{大}|C)\text{Prob}(C)\end{aligned} \tag{2.1}$$

为得出其后验信念，Prob(自然选择了(A)|史密斯选择了大)，琼斯既使用上述概率，又使用他的先验信念。既看到史密斯选择了大，又看到自然选择了（A）的联合概率为：

$$\text{Prob}(\text{大},A)=\text{Prob}(A|\text{大})\text{Prob}(\text{大})=\text{Prob}(\text{大}|A)\text{Prob}(A) \tag{2.2}$$

由于琼斯想知道的是Prob(A|大)，故将（2.2）式的后一部分改写如下：

$$\text{Prob}(A|\text{大})=\frac{\text{Prob}(\text{大}|A)\text{Prob}(A)}{\text{Prob}(\text{大})} \tag{2.3}$$

琼斯在得出自己的新信念（他的后验信念）时需要运用Prob(大)，而他是凭自己的初始知识使用（2.1）式得出Prob(大）的。将（2.1）式中Prob(大）的表达式代入（2.3）式中得出的便是最终结果——贝叶斯法则的一种形式：

$$\text{Prob}(A|\text{大}) = \frac{\text{Prob}(\text{大}|A)\text{Prob}(A)}{\text{Prob}(\text{大}|A)\text{Prob}(A)+\text{Prob}(\text{大}|B)\text{Prob}(B)+\text{Prob}(\text{大}|C)\text{Prob}(C)} \quad (2.4)$$

更一般地，对于自然的行动 x 和观察到的信息，有

$$\text{Prob}(x|\text{信息}) = \frac{\text{Prob}(\text{信息}|x)\text{Prob}(x)}{\text{Prob}(\text{信息})} \quad (2.5)$$

（2.6）式是贝叶斯法则的一个文字上的表达，它可以帮助记住表 2—5 所总结的术语。[2]

$$\text{对自然行动的后验概率} = \frac{\text{参与人行动的条件概率} \times \text{对自然的先验概率}}{\text{参与人行动的边际概率}} \quad (2.6)$$

贝叶斯法则并非纯机械的，但确实是理性地更新信念的唯一方法。因为贝叶斯法则虽说难以记忆，但却易于推导，所以对它的各种变形应仔细推敲。

表 2—5　　贝叶斯术语

名称	含义
概率	Prob(信息|事件)
边际概率	Prob(信息)
条件概率	Prob(信息 X|信息 Y,事件)
先验概率	Prob(事件)
后验概率	Prob(事件|信息)

在跟随领头羊Ⅲ中更新信念

让我们回到跟随领头羊Ⅲ中来使用刚刚推导出的信念更新规则。琼斯对于事件｛自然选择了状态（A)｝的先验概率是 0.7，在看到信息｛史密斯选择了大｝之后需要更新他的信念，即他的先验概率是 Prob(A)＝0.7，而我们想要计算出 Prob(A|大)。

要运用形如（2.4）式的贝叶斯法则，我们需要知道 Prob(大|A)、Prob(大|B)和 Prob(大|C) 的取值。这些值取决于均衡时史密斯的行为，因
58 此是不可能独立于均衡来计算琼斯的信念的。这就是前面提出的要采取三步法的原因。在这种办法里，建模者所要做的就是构造一个均衡并且使用这个均衡来计算信念。随后，他还必须验证均衡策略的确是在给定了由均衡策略所产生的信念的条件下参与人的最佳应对。

在跟随领头羊Ⅲ中，一个可能的均衡是：对史密斯来说，若状态是（A）

或（B），则选择大；若状态为（C），则选择小。对琼斯来说，若史密斯选大，则也选大；若他选小，则也选小。这可被缩写为（L|A，L|B，S|C；L|L，S|S）。下面我们由计算 Prob(A|大)开始，检验这的确是一个均衡。

若琼斯观察到大，他便可以排除状态（C），但他不知道状态到底是（A）还是（B）。贝叶斯法则告诉他，状态（A）的后验概率为：

$$\text{Prob}(A|\text{大})=\frac{1\times 0.7}{1\times 0.7+1\times 0.1+0\times 0.2}=0.875 \tag{2.7}$$

因此，状态（B）的后验概率便是 1－0.875＝0.125，这也可以运用如下贝叶斯法则算出：

$$\text{Prob}(B|\text{大})=\frac{1\times 0.1}{1\times 0.7+1\times 0.1+0\times 0.2}=0.125 \tag{2.8}$$

图 2—8 给出了对贝叶斯法则图形的直观理解。第一根线表明了总概率为 1，它是对状态（A）、(B)、(C) 的先验概率之和。第二根线代表在已观察到大从而排除了状态（C）之后的余下概率之和为 0.8。第三根线表明了状态（A）的概率在余下的概率中按数值计为 0.7，按份额计则为 0.875。第四根线则表明了状态（B）的概率在余下的概率中按数值计为 0.1，按份额计则为 0.125。

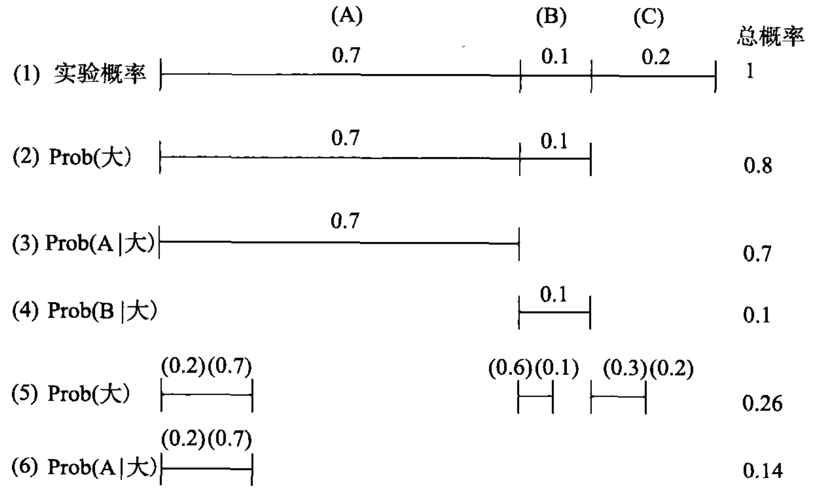


图 2—8　贝叶斯法则

琼斯要算出 Prob(大|A)、Prob(大|B)、Prob(大|C) 的取值，就必须运用在构造的均衡中史密斯的策略。正如同在纳什均衡中屡见不鲜的那样，建模者假定参与人知道正在被执行的均衡策略是什么，尽管他们并不知道被选

择的到底是哪一个特定的行动。

给定琼斯相信状态为（A）的概率是 0.875，而状态为（B）的概率是 0.125，他的最佳应对就是大，即使他知道若状态实际上是（B），则更好的应对本该是小。给定他观察到了大，琼斯选择小的期望支付为－0.625[＝0.875×(－1)＋0.125×2]，而选择大的期望支付为 1.875(＝0.875×2＋0.125×1)。因此，策略组合(L|A，L|B，S|C；L|L，S|S)是完美贝叶斯均衡。

Prob(A|小）可以通过类似的计算得出。运用贝叶斯法则，（2.4）式变为：

$$\text{Prob}(A|\text{小})=\frac{0\times 0.7}{0\times 0.7+0\times 0.1+1\times 0.2}=0 \qquad (2.9)$$

给定琼斯相信状态为（C），他对小的最佳应对仍是小，这与我们构造的均衡是一致的。

史密斯的最优反应则更为简单。假设琼斯将模仿他的行为，则史密斯遵循他的最优策略（L|A，L|B，S|C）将是最好的。

这里的计算相对简单，因为史密斯在均衡时采取的是非随机的策略，因此在（2.9）式中有 Prob(小|A)＝0。如果史密斯采取了这样一种随机策略——在状态（A）时以 0.2 的概率选择大，在状态（B）时以 0.6 的概率选择大，在状态（C）时以 0.3 的概率选择大（我们将在第 3 章中分析这种“混合”策略)，考虑一下将会发生什么？（2.7）式变为（2.10）式。

$$\text{Prob}(A|\text{大})=\frac{0.2\times 0.7}{0.2\times 0.7+0.6\times 0.1+0.3\times 0.2}=0.54 \qquad (2.10)$$

若他观察到了大，琼斯的最佳猜测仍是自然选择了状态（A），虽然在状态（A）时史密斯选择大的概率最小，但琼斯的主观后验概率 Prob(A|大）仍为 0.54，尽管这与他的先验概率 Prob(A)＝0.7 相比已经有所下降。

图 2—8 中的最后两根线便说明了这种情况。倒数第二根线表示史密斯选择大的总概率为 0.26，这是由三种状态下的概率加总得到的（0.26＝0.14＋0.06＋0.06)。最后一根线表明了这一概率中来自状态（A）的部分，这一部分从数值来说是 0.14，从份额而言为 0.54。

对均值的回归、两个武装强盗以及瀑布模型

贝叶斯学习的重要性不仅在于其对贝叶斯博弈的建模方面，更在于它对非策略行为的解释，在这种情形中，虽然参与人可能知道其他参与人的行动，但他们的支付并不直接受这些行动的影响。我将会讨论三种现象，它们对行

为作出了非常有用的解释：对均值的回归、强盗问题以及瀑布模型。

对均值的回归是一个有着贝叶斯解释的古老统计学思想。假定每个学生在一次考试中的表现既取决于他的能力，也取决于由他在考试当天的心情所引起的随机误差。教师是不知道每个学生的具体能力的，但他知道平均水平的学生可以在 100 分中得到 70 分。如果一个学生只得了 40 分，那么教师对他的能力的评估应是多少呢？

这一评估不应当是 40。低于平均分 30 分之多的成绩可能是如下两个因素的结果：(1) 该学生的能力低于平均水平；(2) 该学生在考试当天心情不佳。只有当心情完全不重要之时，教师才能把 40 作为对他的能力的评估。更为可 60
能的是，能力和运气都有影响，因此教师的最佳猜测应是：该学生的能力固然低于平均水平，但也的确是运气不佳。最佳评估应介于 40～70 分之间，这既反映了能力的影响，也反映了运气的影响。在那些只得了 40 分的学生中，有一多半的人在下一次考试中得分有望超过 40 分。由于这些表现不佳的学生的分数是趋于向着均值 70 上升的，故而这一现象被称为“对均值的回归”(regression to the mean)。与此类似，在第一次考试中得了 90 分的学生在第二次考试中的得分就会趋于下降。

这种情况叫作“对均值的回归”(用“趋向”也许更为准确)，而非“超越均值的回归”(regression beyond the mean)。因为较低的分数确实表明就平均水平而言较低的能力，所以，分数较低的学生在第二次考试中的预期分数仍将低于平均水平。对均值的回归仅仅认为运气和能力都起作用。

用贝叶斯的术语来讲，在本例中，教师对学生的能力有一个先验均值 70，而且他正在利用他的先验均值和学生在第一次考试中的分数这一信息形成其后验估计。就典型的分布而言，后验均值在先验均值和信息点之间，即后验均值在 40～70 之间。

就商业而言，对均值的回归可被用于解释商业上的保守主义（见我的文章，Rasmusen (1992b))。人们有时会说，商人因为过于害怕风险而放弃了有利可图的投资机会。我们不妨假定商人是风险中性的，因为与项目相关的风险和项目价值的不确定性是非系统性的，即像股份分散的上市公司的股东所面临的风险那样微乎其微。我们发现，这样一个公司有时不会花 100 000 美元投资于一个现值为 105 000 美元的项目。如果这 100 000 美元是现金而 105 000 美元是估计值的话，这种情况便不难解释了。如果此类新项目的平均价值低于 100 000 美元——这是很有可能的，因为有利可图的项目毕竟不容易找到——那么对项目价值的最好估计将介于 105 000 美元和平均价值之间，除非那个算出 105 000 美元的职员已经这样调整了他的估计。105 000 美元向均

值回归的结果也许会低于100 000美元。换句话讲，若先验均值为80 000美元而信息点为105 000美元，则后验均值很可能低于100 000美元。在解释某些古怪现象的时候，除了策略性行为之外，别忘了对均值的回归也可以是解释之一。例如，在分析考试分数时，为了解释差生分数的上升，有人可能会竭力声称，这是因为他们在试图达到本课程的目标成绩时的最小努力水平上升了。在分析商业决策时，为了解释显然有利可图的项目为何被放弃，有人也可能会声称是由于经理们厌恶那些会使他们工作得更辛苦的创新。

贝叶斯学习也非常明显地解释了罗思柴尔德（Rothschild，1974）引入的“两个武装强盗”（Two-Armed Bandit）模型的次优行为。在一个时期内的每个序列中，一个人选择操作老虎机A或者老虎机B。老虎机A以0.5的已知概率支付1美元，作为交换条件，使用的人需要放进去0.25美元。老虎机B以未知的概率支付1美元，其先验概率密度集中于0.5。对于先操作老虎机B这一战略而言，它不仅在每个周期都有相同的期望支付，而且操作B可以增加参与人的信息，而操作A会保持信息不变，所以首先操作老虎机B是最优策略。当B支付0美元的次数相对于它支付1美元的次数而言足够大时，参与人就应该转而选择操作A，在这里，“足够大”取决于他拥有的先验信念。如果最初1 000次操作的所有结果都是获得1美元，他会继续操作老虎机B，但如果接下来的9 000次操作的结果都是获得0美元，他就会特别肯定地认为
61 B的支付率小于0.5，并转而去操作A。但他永远不会再回来操作B。一旦他开始操作A，无论结果是赚钱还是赔钱，他都不会获得新的信息，甚至即使他连续10次操作的结果都是获得零支付，他也依然没有道理改变机器。结果是，即使老虎机B获得的结果更好，一个参与人也会在操作无穷次之后以选择A作为他的最优策略。

另一个类似的模型是**瀑布模型**（cascade model）。考虑比克昌达尼、赫什莱弗和韦尔奇（Bikhchandani，Hirshleifer & Welch，1992）（他们和班纳杰（Bannerjee，1992）首先提出了这一想法；也可参见Hirshleifer（1995））所提出的简化了的第一个瀑布模型。一系列人必须决定是接受0.5的成本还是拒绝一个项目，该项目等概率地带来0或1的收入。观察前面所有人的决策将带来一系列独立的信息，该信息按照如下规则取值：信息的价值为高的条件：当项目的值是1，则取概率$p>0.5$，当值是0，则取概率$(1-p)$；其他情况下信息的价值为低。

第一个人会简单地按照他的信息决策；当信息是高时就接受，是低时就拒绝。第二个人会应用从第一个人的决策得到的信息以及他自己的信息。对于第二个人来讲，他的一个纳什均衡是永远效仿第一个人的决策。容易看出，

当第一个人选择接受而且第二个信息是高时，他应该效仿第一个人。但当第一个人选择接受而第二个信息是低时，该如何选择呢？这时，第二个人会推导出第一个人的信息是高，他将以 0.5 的概率选择接受或是拒绝，并且两个彼此矛盾的信号具有相同的精确度，此时的选择对他来讲是无差异的，因此，如果他遵循当无差异时模仿第一个人的行动就不会偏离均衡。对第三个人来讲，如果看到前两个人选择的都是接受，也同样会推导出第一个人的信息是高。由于他了解到第二个人的均衡状态是效仿第一个人，他会忽略第二个人的决策，并选择效仿第一个人。所以，即使信息序列是（高，低，低，低，低，…），所有人仍然会选择接受。在“瀑布”中，后面的每个人都会忽略自己的信息并完全依赖于前面的人。所以，我们就可以在非完全信息的情况下将时尚和时装解释为贝叶斯更新，而不需要任何其他的策略性行为。

2.5 例子：潘格赔偿博弈

关于庭外赔偿的潘格（Png[3]，1983）模型是有着复杂的扩展式博弈的例子。原告声称被告疏于对其化工厂配备安全设备，从而导致了有毒物质泄漏，对自己造成了损害。这一指控为真的概率为 q。原告提起了诉讼，但法庭并未立即判决。在休庭期间，原告和被告可在庭外和解。

在这个博弈中，行动是什么？这实际上是由两个博弈组成的：在一个博弈中被告应对损害负责，而在另一个里被告是无辜的。因此我们由自然选择被告是有罪的还是无辜的这一行动来展开博弈树。在下一个结中，原告采取行动——选择是起诉还是抱怨。如果他只是抱怨的话，博弈就将以两个参与人都得到零支付而结束。如果他决定起诉，我们就进入了下一个结。此时被告决定是奉陪还是和解。如果被告选择了和解，原告可以选择接受或拒绝；如果被告选择了奉陪，原告可以选择继续或撤诉。下面描述了这个模型的支付。 62

潘格赔偿博弈

参与人

原告和被告。

博弈顺序

首先，自然会以概率 $q=0.13$ 选择被告对原告所受的伤害负责，如遇到其他情形，被告被判无责。被告了解这个情况，但原告并不知情。

（1）原告会决定选择控告或者只是发牢骚。

（2）被告可以提供给原告 $S=0.15$ 作为赔偿，或者选择奉陪，此时 $S=0$。

（3a）如果被告提供 $S=0.15$ 作为赔偿，则原告可以选择接受，也可以选择拒绝并起诉被告。

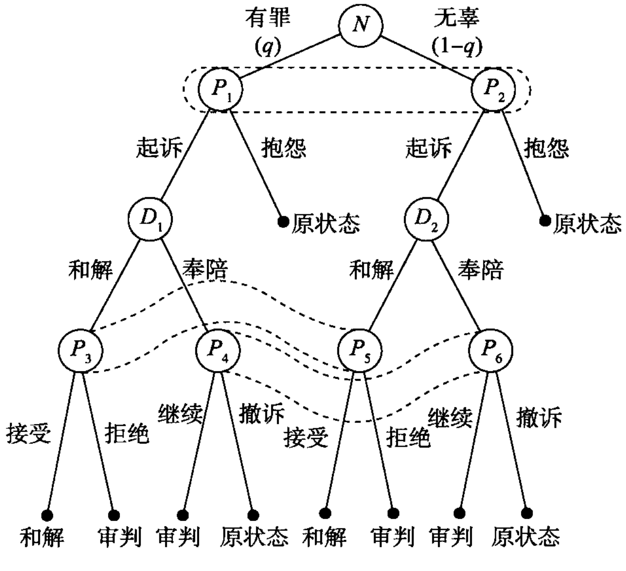
（3b）如果被告提供 $S=0$，当原告的法律成本 $P=0$ 以及被告的法律成本 $D=0$ 成立时，原告放弃该案件；当 $P=0.1$，$D=0.2$ 时，原告选择起诉。

（4）如果原告起诉的话，当被告对伤害负责时，原告得到赔偿 $W=1$；如果被告无责，那么 $W=0$。如果未起诉，则 $W=0$。

支付

原告的支付是（$S+W-P$），被告的支付是（$-S-W-D$）。

我们也可以应用图 2—9 中的博弈树来描述这个博弈。



参与人：（原告，被告）。

图 2—9 潘格赔偿博弈的博弈树

说明：虚线代表原告的信息集。

这个模型假定赔偿金额是 $S=0.15$，而且花在法律费用上的钱数都是外生的。除了在第 5 章中将会出现的无终点结的无穷长博弈之外，扩展式应将所有的成本和收益都融入到终点结处的支付之中，即使成本是在博弈中途发

生的。如果法庭需要 100 美元的立案费（在本博弈中这一费用是不存在的，但在 4.3 节的一个与此类似的要挟诉讼中，这笔费用是需要的），那么这笔费用将从原告在每个终点结的支付中扣除，只有当他选择了抱怨所导致的那些终点结除外。这种统一将使得博弈易于分析且不会影响均衡策略，除非在中途的这种支付款项反映了信息，而且此时的关键之处也是信息而非改变支付这一事实。

我们假定如果官司打到了法庭上，则会真相大白。除去他的法律费用 D，若被判有罪，被告还要再赔偿损失 $W=1$。我们还假定参与人都是风险中性的，因此他们只关心他们的预期美元支付，而不关心方差。在没有这个假定的情况下，我们必须将美元支付转换成效用，但博弈树并不会改变。

这是一个确定性博弈，其信息是非对称的、不完美且不完全的。我们已 63
假定了被告知道自己是否有罪，但我们可以修改这一条件，假定他对于证据是否足以证明他有罪这一点并不比原告知道得多。这样，此博弈就会变成对称信息博弈，从而我们可以去掉自然的初始行动并将支付设定为等于期望值，进而合理地简化扩展式。我们在原博弈中却不能做这一简化。因为被告而且仅仅只有被告才知道他自己是否有罪这一事实极大地影响了双方参与人的行为。

下面我们找出这个博弈的均衡。运用优势的思想，我们可以立即排除原告的一种策略——抱怨。这是劣于（起诉，接受，撤诉）的。

一个策略组合是不是纳什均衡取决于模型的参数——在此处是 S、W、P、D 和 q，它们分别代表和解赔偿额、被判有罪赔偿损失额、原告和被告的诉讼费用和被告有罪的概率。有三种可能的结果：和解（若和解赔偿额不高）、审判（若期望有罪赔偿额高且原告的诉讼费用低）和原告撤诉（若期望有罪赔偿额与原告的诉讼费用之差为负），这都依赖于参数取值状况。考虑如下参数取值：$S=0.15$，$D=0.2$，$W=1$，$q=0.13$，$P=0.1$，对于这个参数集而言存在两个纳什均衡，而且都是弱均衡。

其中一个均衡策略组合是 {（起诉，接受，继续），（和解，和解）}，即原告起诉，被告和解（也许有罪，也许无辜），而原告同意和解。两个参与人都知道若被告不和解，则原告将诉诸法庭请求判决。这种**均衡之外**（out-of-equilibrium）的行为已在均衡中作了规定，因为导致被告和解的原因便是这种请求判决的威胁，即使在均衡中永远不会出现法庭判决。这一策略组合构成了纳什均衡。因为给定原告选择了（起诉，接受，继续），被告不可能比
（和解，和解）做得更好了，这样做无论他有罪与否支付都是 -0.15；而给定 64
被告选择了（和解，和解），原告从（起诉，接受，继续）中获得的 0.15 也是他所能获得的最大支付。

另一个均衡是{(起诉，拒绝，继续)，(奉陪，奉陪)}。原告起诉，被告奉陪并且不提供赔偿，原告不会接受任何形式的和解，并继续起诉。由于被告会预测到原告不会接受 $S=0.15$ 的赔偿，所以他会一直奉陪，因为对他来讲，各种行动都没有任何区别。

对于潘格赔偿博弈的结论性评价：本博弈显示出了海萨尼教义在实际中是如何运用的。因为尽管原告和被告在原告赢的概率有多大这一点上有着不同的信念，但他们是因为被告拥有不同的信息才产生了不同的信念，而不是因为建模者在博弈之初就给他们规定了不同的信念。在按照日常思维去分析此类问题的时候，我们仅仅会注意到潜在的诉讼当事人有着不同的信念，若他们都认为自己会赢的话，便会对簿公堂。与此相比，本博弈似乎显得较为笨拙。但是日常思维却难以做到前后一致，因为如果信念不同是共同知识的话，那么两个参与人都会知道他们之中有一人是错的，从而每个人都必须相信自己是对的。这作为“简化式”(reduced form)来说也许还行，因为简化式的主要目标仅仅是描述发生了什么，而不是试图深入阐释。话又说回来，即使是在潘格博弈中，如果审判发生了，那么原因仍在于参与人的信念不一致，因此不妨简单地砍掉博弈树的第一部分。但这又会造成违背海萨尼教义的问题：如果建模者简单地赋予参与人不变的信念，那么参与人如何根据彼此的行动作出反应是无法分析的。在潘格博弈中，在特定的参数之下，和解提议会遭到拒绝而审判将会发生，这是因为原告会在被告知道自己会赢的概率和被告只是虚张声势的概率之间权衡，而有时他就会冒险试试审判。若没有海萨尼教义，就很难对这种诉诸审判的行为作出解释。

注

N2.1 博弈的策略式和扩展式

- “结果矩阵”这一术语见 Shubik (1982, p.70)。但在那里未被正式定义。
- “结”这一术语有时被定义为仅包括参与人或自然作选择的点，从而就排除了终点。

N2.2 信息集

- 如果你想勾勒一种参与人不知道博弈已到达了 A_1 还是 A_2，而他在这两个结又有着不同行动集的情况，那么你必须重构这一博弈。如果你想表示他的行动集在 A_1 为 (X, Y, Z) 而在 A_2 为 (X, Y)，首先在 A_2

的行动集中添加行动 Z，然后规定在 A_2 处选择行动的 Z 的唯一结果是进入一个新结 A_3，而在 A_2 处只能在 X 和 Y 之间选择。

- "共同知识"这一术语源于 Lewis（1969）。最近的讨论包括 Brandenburger（1992）和 Geanakoplos（1992）。奥曼（Aumann，1976）（对于两个参与人的情形）和米尔格罗姆（Milgrom，1981a）（对于 n 个参与人的情形）给出了严密但不直观的定义。

N2.3　完美信息、确定信息、对称信息与完全信息

- 梯若尔（Tirole，1988，p. 431）定义了近似完美（almost perfect）信息博弈（更准确的定义可参见 Fudenberg & Tirole（1991a，p. 82））。他们使用这一术语指的是重复进行的同时行动博弈（在本书中第 5 章将对此加以探讨）。在这种博弈里，在每一次重复时，所有参与人都知道在过去的重复中包括自然的行动在内的全部行动的结果。其实他们也许不应该用一个听起来如此宽泛的术语来指这么一类如此特定的博弈，它本应被用于指那种除了同时行动以外有着完美信息的博弈。 65
- **扑克划分**（poker classifications）：（1）完美，确定。（2）不完全，对称，确定。（3）不完全，非对称，确定。（4）完全，非对称，确定。（5）完美，不确定。（6）不完全，非对称，确定。
- 范里安（Varian，1992）或克雷普斯（Kreps，1990a）提供了一个对冯·诺伊曼-摩根斯顿效用函数的解释。斯塔尔摩（Starmer，2000）给出了其他的一些应用途径。预期效用和贝叶斯更新是标准博弈理论的两大基石，这既因为它们看起来符合实际，又因为它们简单易用。可是，有时它们并不能很好地解释人类的行为，存在着大量的文献（a）指出了反常之处，且（b）提出了其他的办法。迄今为止，给定描述的现实性和在建模时增加的复杂性二者间的权衡，没有其他方法已被证明足以替代目前的标准方法。通常的办法是，在理论工作中承认并忽略反常之处，但在反常之处可能出现重要不同的情况下，又使模型不致过于僵硬。关于反常之处，可参见 Kahneman，Slovic and Tversky（1982）以及 Thaler（1992）。道斯（Dawes，1988）很好地将心理学与商业作了结合。
- 混合策略（见 3.1 节）在完美信息博弈中是允许的，因为它是博弈均衡的一方面，而非其外生结构。
- 虽然"完美"这个词既出现在"完美信息"（2.3 节）中，又出现在"完美均衡"（4.1 节）中，但这两个概念并无联系。

- 在对称信息博弈中，自然的不可观测的行动可由下述三种方法中的任意一种来表示：(1) 作为博弈的最后一个行动；(2) 作为博弈的第一个行动；(3) 将支付用期望支付代替且不明确使用自然的行动。

N2.4 海萨尼转换与贝叶斯博弈

- 默滕斯和扎米尔（Mertens and Zamir，1985）研究了海萨尼转换的数学基础。这一转换要求扩展式是共同知识，这就引起了微妙的递归问题。
- 参与人对于支付是多少总是有些认识的，因此我们总是可以给他规定对于每一可能支付的主观概率。若他毫无认识怎么办？这个问题是没有意义的，因为人们总是会有些认识的，当他们说没有时，实际上一般是指他们对于许许多多可能性的先验概率都是既小且为正的。比方说，你对于我在一生中喝了多少杯咖啡可能不会有太多认识，但你会承认它是一个小于 3 000 000 的非负数，事实上你可以做一个准确得多的猜测。关于主观概率的经典文献是 Savage（1954）。
- 如果两个参与人有着相同的先验信念且他们的信息分割都是有限的，但是他们每个人都有私人信息，那么两人间的反复沟通将导致相同的后验信念。这一后验信念与他们直接将信息汇合所形成的后验信念并不总是相同，虽然说它们几乎总是相同（Geanakoplos & Polemarchakis，1982）。

习 题

2.1 下注问题（容易）

66 设想你现在是一档电视节目“让我们做个交易”（Let's Make a Deal）的嘉宾。你面对着标有 A、B 和 C 的三块帘子，在其中两块帘子后面只有烤箱之类的小东西，而在第三块帘子后面则有一辆轿车。你现在选择了 A，主持人撩开帘子 B，露出里面的烤箱，对你说：“幸亏你没选 B，现在再给你一次机会，你是否要从 A 换成 C 呢？”问题是：此时你是否应改弦更张？帘子 C 后面藏着轿车的准确概率是多少？

2.2 埃尔马的苹果派（难）

琼斯夫人给她的儿子埃尔马做了个苹果派，她想知道这回做的苹果派是棒极了还是一般。她做的苹果派在 1/3 的时候是极棒的。此时，埃尔马既可

能已是饥肠辘辘，也可能只是有点饿，他可能吃 2 个、3 个或者 4 个苹果派。琼斯夫人知道埃尔马只是有点饿的可能性为一半。如果苹果派是极棒的，那么，若埃尔马只是有点饿，则他吃掉 2、3、4 个苹果派的概率分别为（0，0.6，0.4）；但若他已饥肠辘辘，则上述概率分别为（0，0，1）。如果苹果派仅是一般，那么在他有点饿时的概率为（0.2，0.4，0.4），而在他已饥肠辘辘时的上述概率为（0.1，0.3，0.6）。

埃尔马是个敏感而内向的孩子，他总是说苹果派的味道棒极了而自己胃口不好，不论他的内心真实感受如何。

（a）他吃掉 4 个苹果派的概率有多大？

（b）若琼斯夫人看见他吃掉了 4 个苹果派，则他已是饥肠辘辘而苹果派仅是一般的概率是多大？

（c）若琼斯夫人看见他吃掉了 4 个苹果派，则苹果派味道棒极了的概率是多大？

2.3 癌症检查（容易）

试想你正在接受癌症检查，使用的检查方法的准确度为 98%。若你确实患有癌症，则检查结果呈阳性（表示有癌症）的概率是 98%；若你并未患有癌症，则检查结果呈阴性（表示无癌症）的概率是 98%。你已经知道在人群中，每 20 人中就有 1 人患癌症。现在医生告诉你，你的检验结果呈阳性，但你不必担忧，因为他的前 19 个病人都死了。你是否应担忧呢？你患癌症的概率到底有多大？

2.4 战舰问题（难）

五角大楼正在选择是造一艘战列舰还是造两艘巡洋舰。一艘战列舰和两艘巡洋舰的造价相当，但一艘巡洋舰就可以完成海军的任务——如果它能够接近目标的话。战列舰完成任务的概率为 p，巡洋舰完成任务的概率为 $p/2$。不管结果如何，战争结束后战舰都只是一堆废铁。何种选择是最优的？

2.5 合资企业（中等难度）

软件公司和硬件公司成立了一家合资企业。两家公司既可以贡献高努力，也可以只贡献低努力，前者相当于 20 的成本，后者相当于零成本。硬件公司
首先行动，但软件公司无法观察到硬件公司的努力水平，利润由两家平分且两家都是风险中性的。如果两家公司都只贡献低努力，则总利润为 100。如果元件有缺陷，则总利润也为 100。否则，若两家都贡献高努力，则总利润为

200；但若只有一家贡献高努力，则总利润为 200 的概率为 0.1，总利润为 100 的概率为 0.9。在它们行动之前，两家公司都认为元件有缺陷的概率为 0.7，但是硬件公司在行动之前可以通过观察了解元件质量的真实情况，而软件公司无法做到这一点。

（a）画出博弈的扩展式并在所有软件公司行动的结处用虚线将信息集圈起来。

（b）纳什均衡是什么？

（c）在均衡时，软件公司对于硬件公司选择了低努力的概率的信念如何？

（d）如果软件公司发现利润为 100，那么当它自己贡献了高努力且相信硬件公司只选择了低努力时，它认为元件有缺陷的概率为多大？

2.6　加州大旱（难）

加州旱情严重，水库水位持续下降。在 1991 年下雨的概率是 1/2，而在 1992 年则一定会雨水充沛。州政府使用的办法是定量配给而非价格制度，它必须决定在 1990 年用多少水，并留多少水到 1991 年。每个加州人的效用函数都是 $U=\log(w_{90})+\log(w_{91})$。证明州政府决定在 1990 年用掉的水量应是它留到 1991 年水量的两倍。

2.7　史密斯的体能水平（容易）

老板想要确定史密斯的体能水平是高还是低。他每天都只能详细地观察史密斯一次。他知道，如果史密斯的体能水平低，那么他打哈欠的概率是 50%；如果他的体能水平高，则打哈欠的概率是 10%。在观察史密斯之前，老板认为史密斯体能水平高的概率是 80%，但他看到了史密斯打哈欠。那么现在，老板认为史密斯体能水平高的概率是多少？

2.8　两个博弈（中等难度）

假定列从表 2—6 和表 2—7 中选择支付结构（payoff structure），并将其应用于与行所进行的同时行动博弈中。行并不知道列选择了哪种支付结构。

（a）给出每个参与人策略的例子。

（b）找出一个纳什均衡。均衡是唯一的吗？为什么？

（c）对列而言，存在占优策略吗？解释原因。

（d）对行而言，存在占优策略吗？解释原因。

（e）行对策略的选择依赖于列是否为理性的吗？为什么？

表 2—6　支付（A） 68

囚徒困境

行 \ 列	否认	坦白
否认	−1，−1	−10，0
坦白	0，−10	−8，−8

支付：（行，列）。

表 2—7　支付（B）

坦白博弈

行 \ 列	否认	坦白
否认	−4，−4	−12，−200
坦白	−200，−12	−10，−410

支付：（行，列）。

酒吧中的贝叶斯法则：第 2 章的课堂博弈

我漫步走进了泽西城的一家危险的酒吧。里面有 6 个人，基于以往的经验，我估计有 3 个是冷血杀手，另外 3 个是胆小鬼。我知道 2/3 的杀手是侵犯性的，另外 1/3 是讲道理的；但 1/3 的胆小鬼是侵犯性的，另外 2/3 是讲道理的。很不幸，我把饮料洒在了一个看起来像无赖的人身上，他问我是不是想找死。

为了在两秒钟之内作出反应，我需要知道我侵犯了一个杀手的概率。给出你的估计。

故事继续进行。被撒上饮料的恶棍的一个朋友从外面走进酒吧，并了解发生了什么事。他也变得很有侵犯性。我知道无赖的朋友同他一样——如果前一个人是杀手的话，后面的一个也是；如果前一个人是胆小鬼的话，他的朋友也同样是胆小鬼。这个额外的麻烦是否会改变你对他们两个人是杀手的估计？

这个博弈是查尔斯·霍尔特和丽萨·R·安德森（Charles Holt & Lisa R. Anderson）所描述的博弈（“Classroom Games：Understanding Bayes Rule”，*Journal of Economic Perspectives*，10：179－187（Spring [1996]））的后续情形，但这里我应用了不同的启发式方法来说明这个规则，并用酒吧来代替那些缸。心理学家发现，当一个逻辑难题同一个社

会间相互作用的故事相结合时，人们会更容易解决。在罗宾·邓巴（Robin Dunbar）的著作《科学难题》（*The Trouble with Science*）的第7章中，详细解释了由科斯迈德斯和图贝（Cosmides & Toobey，1993）引入的实验和方法。

【注释】

[1] 但是，请注意划分Ⅲ和Ⅳ在本博弈中其实是不允许的，因为正如先前已解释的，琼斯可以从可行行动中分辨出节点来。

[2] “边际概率”一词对经济学家来说可能比较陌生，因为这是一个无条件的概率，而且当经济学家使用“边际”一词时，他们所指的是“起始于某一特殊水平的增量条件”。统计学家之所以这样来定义边际概率，是因为它们始于 Prob（a，b），并进而导出了 Prob（b）。这就如同在平面（a，b）上，沿着边界轴 b 轴前进，并研究对于所有可能的 a 值，它们的积分值 b 的可能结果。

[3] 顺便说一句，Png 就像它拼写的那样去读。

第 3 章 混合策略与连续策略

3.1 混合策略：福利博弈

我们已经考察过的博弈至少就一个方面而言是经过简化了的：行动集里的行动的数量都是有限的。在本章中，我们将允许行动的选择是连续的，例如，参与人可以在 10～20 之间选择价格，或是参与人在 0～1 之间选择购买的概率。第 3 章首先讲述的是如何在一个不存在纯策略均衡的博弈中找到混合策略均衡。在 3.2 节中，我们运用“支付均等化方法”来找到混合策略均衡，并且把混合策略应用于两个动态博弈，即消耗战和新市场中的专利权争夺战。在 3.3 节中，我们把混合策略均衡放到一个更为一般的框架下加以讨论，并将我们的分析扩展到三个以上参与人的情形。3.4 节在一类重要的博弈即审计博弈中对混合策略和随机行动加以区分。3.5 节应用古诺双寡头模型，将我们的分析对象从混合策略的连续状态空间转换到了包含纯策略的连续状态空间。古诺双寡头模型主要讨论的就是两家公司在从零到无穷大这一连续空间中选择产量的例子。3.6 节介绍了伯特兰模型以及策略替代。3.7 节作了一些转换并讨论了纳什均衡可能不存在的四个原因。除了给出寻找均衡的一些简单方法之外，本章后面的几小节还介绍了一些在后续章节中将详细讲述的思想，例如第 4 章中的动态博弈、第 7 章和第 8 章中的审计与代理问题以及第 14 章中的古诺双寡头模型。 69

对于没有优势策略均衡的博弈，我们运用纳什均衡的概念来预测博弈的

结果。但在有一些博弈中，即使纳什均衡也不存在。在这种情况下，将策略空间扩展为包括随机策略常常是切实有效的，因为这样几乎可以保证纳什均衡的存在。这样的随机策略就称为“混合策略”。

纯策略（pure strategy）将参与人的每一可能信息集映射到一个行动上，$s_i: \omega_i \to a_i$。

混合策略（mixed strategy）将参与人的每一可能信息集映射到一个关于行动的概率分布上，$s_i: \omega_i \to m(a_i)$，其中 $m \geqslant 0$，而且 $\int_{A_i} m(a_i)\mathrm{d}a_i = 1$。

70 **完全混合策略**（completely mixed strategy）中每一行动被选择的概率都是正的，即 $m > 0$。

将博弈扩展为包括混合策略的形式称为该博弈的**混合扩展**（mixed extension）。

如果说纯策略是一条告诉参与人应该选择什么行动的规则的话，那么混合策略就是一条告诉他应该掷一个什么样的骰子来选择行动的规则。如果参与人执行的是混合策略，那么在同一种给定的情况下他也有可能选择几种不同行动中的任何一种，而且这种不可预见性对他来说是大有好处的。混合策略在真实世界中也是屡见不鲜的。例如，在橄榄球比赛中，进攻的一方必须决定是要传球还是要直接向前冲。一般而言，传球可以向前推进得更快，但是选择对手意料之外的行动才是最为重要的。因此他们会有时选择传球，有时选择直接向前冲。这种做法在旁人看来似乎是随机的，但在博弈论专家看来却是理性考虑的结果。

福利博弈

福利博弈模型化的对象是政府和贫民。政府乐于救济那种努力寻找工作的贫民，但不愿帮助那种坐等救济的贫民。可是贫民只有在得不到政府的救济之时才会去寻找工作。

表 3—1 给出了代表这种情况的支付。“工作”代表努力寻找工作，“游手

表 3—1 **福利博弈**

		贫民		
		工作（γ_w）		游手好闲（$1-\gamma_w$）
政府	救济（θ_a）	3，2	→	−1，3
		↑		↓
	不救济（$1-\theta_a$）	−1，1	←	0，0

支付：（政府，贫民）。箭头表示参与人如何增加支付。

好闲”代表不努力。政府愿意帮助那些努力寻找工作的贫民，而不是那些不努力的贫民。两个参与人都没有优势策略，而且我们稍加考虑也会发现连以纯策略形式存在的纳什均衡都没有。

我们不妨考虑一下每一种策略组合来验证纳什均衡是否存在。

(1) 策略组合（救济，工作）不是纳什均衡，因为若政府选择救济，则贫民将选择游手好闲。

(2)（救济，游手好闲）也不是纳什均衡，因为此时政府将转而采取不救济。

(3)（不救济，游手好闲）不是纳什均衡，因为贫民将转而选择努力寻找工作。

(4)（不救济，工作）不是纳什均衡，因为政府将转而选择救济，而这样做就又把我们带回到 (1) 中。

但福利博弈确实有一个混合策略纳什均衡，而且我们可以把它计算出来。参与人的支付是表 3—1 中支付的期望值。如果政府选择救济的概率是 θ_a，而贫民选择工作的概率是 γ_w，则政府的期望支付是： 71

$$\begin{aligned}\pi_{政府} &= \theta_a[3\gamma_w+(-1)(1-\gamma_w)]+(1-\theta_a)[-1\gamma_w+0(1-\gamma_w)]\\ &= \theta_a(3\gamma_w-1+\gamma_w)-\gamma_w+\theta_a\gamma_w\\ &= \theta_a(5\gamma_w-1)-\gamma_w \qquad (3.1)\end{aligned}$$

如果只允许纯策略的话，θ_a 只能取 0 或 1，但是在博弈的混合扩展中，政府的救济概率 θ_a 可以取 0～1 之间的任何值，纯策略仅仅是极端情况。按照解最大化问题的通常办法，我们可以求支付函数关于选择变量的导数来得到一阶条件。但实际上这个过程并不是寻找混合策略均衡的最佳方式，我将在下一小节介绍关于混合策略均衡的“支付均等化方法”。我们在这里将应用最大化方法，因为这将帮助你理解混合策略是如何起作用的。政府的一阶条件是：

$$\begin{aligned}0 &= \frac{d\pi_{政府}}{d\theta_a}=5\gamma_w-1\\ &\Rightarrow \gamma_w=0.2 \qquad (3.2)\end{aligned}$$

在混合策略均衡中，贫民在 20%的时候选择工作，我们得到这一结果的方式看起来似乎有点奇怪——为了获得贫民的策略，我们却要对政府的支付求导。这是因为我们并没有使用求解最大化问题的标准方法。原问题有一个角点解（corner solution），这是因为，基于贫民的策略，选择如下三种策略之一便可以使得政府的支付最大化：(1) 如果贫民足够不愿意努力工作，就不提供救济($\theta_a=0$)；(2) 如果贫民足够愿意努力工作，就提供救济($\theta_a=1$)；

(3) 因为贫民努力工作的概率正好落在边界线 $\gamma_w = 0.2$ 上，而这对政府来讲并没有什么不同，所以政府以任意概率提供救济。

正是因为（3）中存在的概率，使混合策略均衡得以出现。理解这一点需要下述几步：

1. 我假定对政府而言存在一个最优的混合策略。

2. 若贫民选择工作的概率大于 20%，则政府将总是选择救济。若小于 20%，政府将从不选择救济。

3. 若对政府而言混合策略是最优的，则贫民选择工作的概率必须恰好为 20%。

为了得到政府选择救济的概率，我们必须先求得贫民的支付函数：

$$\begin{aligned}\pi_{\text{贫民}} &= \gamma_w[2\theta_a + 1(1-\theta_a)] + (1-\gamma_w)[3\theta_a + 0(1-\theta_a)] \\ &= 2\gamma_w\theta_a + \gamma_w - \gamma_w\theta_a + 3\theta_a - 3\gamma_w\theta_a \\ &= -\gamma_w(2\theta_a - 1) + 3\theta_a \end{aligned} \tag{3.3}$$

72 它的一阶条件是：

$$\frac{d\pi_{\text{贫民}}}{d\gamma_w} = -(2\theta_a - 1) = 0$$

$$\Rightarrow \theta_a = \frac{1}{2} \tag{3.4}$$

如果贫民选择工作的概率为 0.2，那么政府以概率 1、0 或者其他任何概率选择救济是无关紧要的。如果这一策略要形成纳什均衡，那么政府必须选择 $\theta_a = 0.5$。在混合策略纳什均衡中，政府以 0.5 的概率选择救济，而贫民以 0.2 的概率选择工作。结果矩阵中的任何一种情况都有可能成为均衡结果。最可能发生的情况是（不救济，游手好闲）和（救济，游手好闲），二者发生的概率都是 0.4（$= 0.5 \times (1 - 0.2)$）。

对混合策略的解释

混合策略不如纯策略来得直观，因此许多建模者只要博弈中有纯策略均衡都只谈纯策略均衡。对混合策略的一个批评是说人们在真实世界中是不会采取随机性行动的。其实这一批评并不能令人信服，因为混合策略要成为对真实世界的良好描述，它所需要的仅仅是参与人的行动对于观察者而言是随机的，而参与人对于自己将要采取什么行动可以做到胸有成竹。但是，即使是明确的随机行动也并非不同寻常：税务局随机选择对哪笔税收进行审计；电话公司随机监听其接线员的谈话来看他们对客户是否礼貌。

一个更为棘手的批评是说选择了混合策略的参与人在两个纯策略间总是无差异的。在福利博弈中，给定政府的混合策略，贫民对自己的两个纯策略以及在整个混合策略的连续区间上都是无差异的。如果贫民决定不遵循特定的混合策略 $\gamma_w=0.2$，那么均衡就会由于政府针锋相对地改变策略而土崩瓦解。也就是说，即使贫民选择的概率只发生了一点点变化，而且这一点点变化在政府不作出反应时根本就不会改变贫民的支付，但是因为政府的确会作出反应，所以这一点点变化就足以摧毁均衡。混合策略纳什均衡的脆弱性同俾斯麦海之战中（北，北）均衡的脆弱性是相同的——参与人在各种策略间是无差异的，但为了保持均衡，他必须从策略集中选择某一特定策略。

理解福利博弈的一种方式是，设想在实际中存在许多贫民而不是只有一个贫民，他们的偏好和支付函数都相同，政府对待他们的方式必须一致。在混合策略均衡中，每个贫民都以 0.2 的概率选择工作，这与只有一个贫民的博弈并无二致。但是这一多贫民博弈拥有纯策略均衡：20%的贫民选择纯策略工作，而 80%的贫民选择纯策略游手好闲。在各种纯策略之间无差异的单个贫民到底会选择何种纯策略的问题依然存在，但是可以将决定哪个贫民选择哪种策略的因素归结为模型之外的那些贫民各自的特点。

要将混合策略以这种方式理解为纯策略，需要参与人的个数满足一定的条件，具体人数的要求取决于均衡概率 γ_w，因为我们不可能说一个人的一部分将会如何。例如，为了在福利博弈中应用这一理解，贫民的人数必须是 5 的倍数，因为均衡混合概率是 1/5。如果想无论怎么变化模型的参数这一理解都可得以应用，那么我们需要假定参与人的人数是连续的。 73

对混合策略的另一种理解即使在单个贫民的条件下也可以成立。它假定那个单个的贫民是从贫民的总体中抽出来的，而政府不知道他的特点。政府只知道存在两种贫民，当政府选择 $\theta_a=0.5$ 时，一种人会选择工作，而另一种人会选择游手好闲，二者的比例为 0.2∶0.8。从总体中随机抽出的这一个贫民可能是两种人中的任何一种。海萨尼（Harsanyi，1973）对这种情况给出了一个详细的解释。

混合策略可以优于纯策略，或不劣于纯策略

在我们继续研究用于计算混合策略的方法之前，有必要首先说明我们可以如何应用它们将博弈的参与人可能应用的理性策略集合进行简化。在第 1 章，我讨论了应用优势策略和重复优势来代替纳什均衡的思想，但那时忽略了混合策略的概率。这个忽略是有意义的，因为在一个博弈中，对有些纯策略来讲，即使其他任意纯策略都不优于它，也可能会有一个混合策略严格优于它。表 3—2 的例子对此进行了说明。

表 3—2　　混合策略优于纯策略

		列 北	列 南
行	北	0，0	4，−9
行	南	4，−6	0，0
行	防守	1，−1	1，−1

支付：(行，列)。

在表 3—2 的零和博弈中，行的军队可以向北进攻、向南进攻或者留下防守。列的军队可以采取为向北的防守做准备或者为向南的防守做准备作为回应。如果行攻击了列，而列选择了在另一方向上进行防守，则行的支付是 4；但如果列在相同的方向上作了防守，则行的支付是 0。如果行选择防守，则无论列如何选择，行的支付都是 1。

所以，如果行选择防守，则他一定能得到支付 1，而此时无论是向北还是向南都不占优。但假定他以概率 0.5 向北，以概率 0.5 向南，并假定列以概率 N 向北，则行在这个混合策略中的期望支付就是：

$$0.5(N)(0)+0.5(1-N)(4)+0.5(N)(4)+0.5(1-N)(0)=2 \tag{3.5}$$

所以不论列如何回应，行从混合策略中得到的期望支付都要高于他选择防守的支付 1。对行来讲，混合策略（0.5 北，0.5 南）是严格优于防守的。

“如果行是风险规避的呢?”你也许会问，“难道他不会更倾向于通过选择防守而得到确定的支付 1?”不会的。支付是通过效用单位而不是钱或者其他效用函数的输入来区分的。在表 3—2 中，行的支付 0 可能代表得不到领土，
74 1 代表 100 平方英里领土，4 代表 800 平方英里领土，所以获得领土的边际支付是下降的。当应用混合策略时，保持跟踪所获得的效用与投入之间的差异尤其重要。

因而，无论是否为风险规避型，在混合策略优于纯策略的唯一纳什均衡中，行与列两者都会选择以概率 0.5 向北以及概率 0.5 向南。这是每个参与人的唯一的均衡行动，因为任何其他的选择都会导致另外的参与人去选择另一个没有被保卫的方向。

3.2　支付均等化方法与时间安排博弈

下一个博弈将会说明为何有时即使纯策略均衡存在，我们仍会认为混合

策略均衡是最优的。斗鸡博弈的参与人是两个血气方刚的年轻人——史密斯和琼斯。史密斯开着车，在路中央由北向南疾驰，琼斯由南向北行驶。考虑到相撞的威胁，他们两人都必须决定是要在路中央坚持下去，还是避让到路的一边去。如果只有一个参与人避让，那么他就会丢面子；但如果没有人选择避让，那么他们两人都会死于非命，这样所引起的支付显然更低。如果某一参与人是唯一选择坚持的，那么他就会倍感荣耀；而如果两人都选择了避让，那么他们都会觉得难堪（我们可以设想避让指的就是向右侧避让，如果一人向左避让而另一人向右避让，结果将是两败俱伤）。表 3—3 给这四种结果规定了具体的数值。

表 3—3 **斗鸡博弈**

		琼斯		
		坚持（θ）		避让（$1-\theta$）
史密斯	坚持（θ）	-3，-3	→	**2，0**
		↓		↑
	避让（$1-\theta$）	**0，2**	←	1，1

支付：（史密斯，琼斯）。箭头表示参与人如何增加支付。

斗鸡博弈有两个纯策略纳什均衡，（避让，坚持）和（坚持，避让），但是它们存在非对称的缺陷。参与人如何知道博弈出现的均衡到底是哪一个？即使他们在博弈开始之前可以互相通气，我们也很难解释为何会出现不对称的结果。在为性别战选择均衡时，我们也会碰到同样的难题。如同在性别战中一样，在斗鸡博弈中最佳的预测也许就是混合策略均衡，其对称性使它成为聚点，且它不需要在参与人之间存在差别。

此处用**支付均等**（payoff-equating）的方法来计算斗鸡博弈中的混合概率。这一方法的内在逻辑与 3.1 节中所述的方法是一脉相承的，但它并不使用微分最大化的方法。支付均等方法的基础是，**当一个参与人在均衡中应用一个混合策略时，他所得到的支付必须与他在混合策略中所应用的每个纯策略的支付相同。**如果他的某个纯策略有更高的支付，他就应该选择应用那个策略而舍弃混合策略；如果某个纯策略有更少的支付，他就应该从他的混合策略中去掉那个纯策略。

所以，在斗鸡博弈中，史密斯从纯策略避让和坚持中所得到的支付必须 75
是无差异的。不仅如此，斗鸡博弈与社会福利博弈的不同之处在于它是一个对称博弈，因此我们可以猜出在均衡时每个参与人将选择相同的混合概率。如果事实果真如此，那么，由于在混合策略均衡中琼斯的每一纯策略所带来的支付都是相等的，则有

$$\begin{aligned}\pi_{琼斯}(避让) &= (\theta_{史密斯})(0)+(1-\theta_{史密斯})(1) \\ &= (\theta_{史密斯})(-3)+(1-\theta_{史密斯})(2) \\ &= \pi_{琼斯}(坚持)\end{aligned} \tag{3.6}$$

根据方程（3.6），我们可以看到 $1-\theta_{史密斯}=2-5\theta_{史密斯}$，因此 $\theta_{史密斯}=0.25$。在这一对称均衡中，两个参与人都选择相同的概率，因此我们可以简单地用 θ 来代表 $\theta_{史密斯}$。对于史密斯和琼斯的母亲来说，最关心的莫过于他们两人安然无恙的概率有多大，这一概率为 $1-\theta\cdot\theta=0.937\ 5$。

如果建模者很清楚地知道将被混合的是哪些策略的话，支付均等化方法较之于微分法更易应用，而且这一方法也可用于不对称博弈中。在福利博弈中，可以由令

$$V_{政府}(救济)=V_{政府}(不救济)且 V_{贫民}(游手好闲)=V_{贫民}(工作)$$

开始，这样可以产生包含两个未知量的两个方程，θ_a 和 γ_w，解这两个方程产生的混合概率与之前曾发现过的相同。支付均等化和微分最大化方法为何会殊途同归呢？其原因在于期望支付是可能支付的线性函数，因此对期望支付求导就等于可能支付。与对称博弈的情况唯一有所不同的便是要解两个方程来得到两个不同的混合概率，而不是仅解一个方程来得到两个参与人都选择的同一个混合概率。

如果把表 3—3 中西北角的支付 -3 一般化为 x，那么将会有什么有趣的结果呢？解一个类似（3.6）式的方程，可以得到

$$\theta=\frac{1}{1-x} \tag{3.7}$$

如果 $x=-3$，那么 $\theta=0.25$，这与我们曾经算过的结果是一致的。而若 $x=-9$，则 $\theta=0.10$。这一点也是有道理的，因为撞车损失的上升自然会降低在路中央坚持开飞车的均衡概率。但当 $x=0.5$ 时会怎样呢？此时坚持的均衡概率似乎是 $\theta=2$，而这是不可能的，因为概率被严格限定在 0～1 之间。

当算出的混合概率大于 1 或小于 0 时，一种可能是，建模者犯了数学上的错误，而另一种可能便是，博弈根本就不存在混合策略均衡。我们这里出现的就是后一种情况。如果 $x=0.5$，你也可以试着解一下混合概率，但是事实上该博弈唯一的均衡是一个纯策略均衡——（坚持，坚持）（本博弈已经变成了一个囚徒困境）。出现概率大于 1 或者小于 0 的荒谬情况对于建模者发现自己不经意间犯下的错误是有帮助的，因为这种结果表明他把均衡的性质给弄错了——均衡应是纯策略的，而非混合策略的。或者说，如果建模者不知道均衡是否为混合策略的，他也可以使用这种方法来证实均衡不是以混合策

略的形式存在的。

消耗战

从本书开始讨论的干洗店博弈（Dry Cleaners Game）以来，我们所讨论的博弈要么是参与人在同一时间作出行动，要么是参与人按顺序作出行动。但某些情形可以自然而然地被建模为时间的流（flows of time）。在这样的情形中，参与人会重复选择他们的行动。消耗战博弈即属于这一类情形。它类似于反复进行的斗鸡博弈，在该博弈中，两个参与人刚开始都选择坚持，而当第一个人选择退出时博弈就宣告结束。两个参与人在每一期中都得到负效用，直到博弈结束。而当某一参与人退出时，他的支付为 0，而另一参与人由于比对手坚持得久而得到奖赏。 76

我们将考虑一个离散时间的消耗战博弈。我们的参与人依然是史密斯和琼斯，他们都已成年但其秉性未改，而且他们进行博弈的道具也更为昂贵——他们分别执掌着同一行业中的两家公司。这一行业是自然垄断的，也就是说，需求强度只能保证一家，而不是两家公司盈利。可能的行动是退出和坚持。在两家都选择坚持的每一期中，两家各得到-1。如果一家公司退出，则它的亏损自然消失，而剩下的一家会获得相当于 3 的市场垄断利润。我们将贴现率设为 $r>0$，虽然对模型来说这一点即使在博弈的可能长度为无穷的情况下也并非必不可少（关于贴现率的内容将在 4.3 节进行详细讨论）。

在消耗战中，纳什均衡是存在一个连续区间的。一个简单的均衡是：史密斯选择（不管琼斯做什么都坚持）且琼斯选择（立即退出），这对于双方而言都是最佳反应。但是我们要解出的是一个每个参与人都选择相同混合策略的对称均衡，即给定对方尚未退出的条件下参与人选择退出的概率 θ。

我们可以从史密斯的角度按下述步骤算出 θ。以 $V_{坚持}$ 表示若他选择坚持时他的支付的预期贴现值，而以 $V_{退出}$ 表示若他立即退出时他的支付的预期贴现值。在混合策略均衡中，这两种纯策略的支付必须相等（这一点正是“支付均等化方法”的基础）。若史密斯选择退出，则他获得 $V_{退出}=0$。若史密斯选择坚持，则他的支付取决于琼斯选择了什么。若琼斯也选择了坚持，这种情况的概率为 $(1-\theta)$，则史密斯在本期得到-1，而他对于下一期的期望值仍不变，只需要用 r 加以贴现即可。若琼斯立即退出，这种情况的概率为 θ，则史密斯所获得的支付为 3。以符号来表示就是

$$V_{坚持}=\theta(3)+(1-\theta)\left(-1+\frac{V_{坚持}}{1+r}\right) \tag{3.8}$$

上式稍加变形，即可变为

$$V_{坚持}=\left(\frac{1+r}{1+\theta}\right)(4\theta-1) \tag{3.9}$$

因为 $V_{坚持}=0$，所以当 $V_{坚持}=V_{退出}$ 时，方程（3.9）的结果便是在均衡时 $\theta=0.25$，且这一结果与贴现率 r 无关。

让我们从数学推导回到博弈的内在逻辑上来。给定若史密斯坚持足够长的时间则琼斯一定会先退出这一条件，为什么史密斯立即退出的概率仍为正呢？其原因在于，琼斯可能会选择坚持很长时间，直到他退出为止，两个参与人在每一期都只获得−1。在计算均衡混合概率时，每个参与人都有可能坚持相当长时间，以至于他们的损失超过了最后作为幸存者的收益。下面列出的论文对消耗战进行了研究：Fudenberg & Tirole（1986b），Ghemawat & Nalebuff（1985），Maynard Smith（1974），Nalebuff & Riley（1980）。它们都是因为寻租造成福利损失的例子。正如波斯纳（Posner，1975）和图洛克（Tullock，1967）曾指出的那样，获得租金的真实成本远远高于由配置扭曲所造成的二阶三角形损失（second-order-triangle losses），消耗战表明，由自
77 然垄断所引起的最大损失也许并不在于因较高价格所带来的交易减少，而在于为获取垄断展开争夺的成本。

在新开发市场的业务中极有可能见到消耗战，这类市场要么是旧产品在新地域上的市场，要么是出现了新产品的市场，尤其是那些当新产品出现后可能会形成自然垄断的市场。麦卡菲（McAfee，2002，p. 76，364）引用了如下的例子：天空电视台（Sky Television）与英国卫星广播公司（British Satellite Broadcasting）关于英国卫星电视市场的竞争；亚马逊与 Barnes and Noble 关于网络图书市场的竞争；Windows CE 与 Palm 关于手提电脑市场的竞争。消耗战也会在衰退的行业中出现，在这种情形下，各种公司会为了谁将在市场上存活时间最长而竞争。例如在美国，制造火箭的公司从 1990 年的 6 家下降到 2002 年的 2 家（McAfee，2002，p. 104）。

在消耗战中，最后的奖赏归于那个没有选择导致博弈结束的行动参与人，而在此之前的每一期中，两个参与人都为拒绝结束付出了成本。但是还存在其他各种各样的博弈的时间安排。与消耗战相对应的便是**先发制人博弈**（preemption game）。在该博弈中，选择了导致博弈结束行动的参与人获得了最后的奖赏，可是若两个参与人都选择了该行动，则每个人都要付出代价；但是若没有人选择该行动，则在该期中无人付出代价。**抓钱博弈**（grab the dollar）就是一个例子。桌上放着 1 元钱，史密斯和琼斯分坐两旁，决定是否该伸手去抓这 1 元钱。如果两人都伸手去抓，那么，每人被罚款 1 元。这既可以被设定为一个

一期博弈，也可以被设定为一个 T 期博弈，还可以被设定为无穷期博弈，但当某一参与人抓住钱时，博弈自然结束。表 3—4 给出了支付情况。

表 3—4　　　　　　　　　　抓钱博弈

		琼斯		
		抓		不抓
	抓	−1，−1	→	**1，0**
史密斯		↓		↑
	不抓	**0，1**	←	0，0

支付：（史密斯，琼斯）。箭头表示参与人如何增加支付。

与消耗战一样，抓钱博弈拥有不对称的纯策略均衡和对称的混合策略均衡。在无穷期的情况下，对称均衡中每一期抓钱的均衡概率为 0.5。

另一类有着不同时间安排的博弈就是决斗。在这种博弈中，时间是连续的，而参与人在连续时间上的特定点采取行动，因而行动的发生是离散的。两个参与人都正在用枪指着对方，而他们都必须决定何时扣动扳机。在一个**有声决斗**（noisy duel）中，如果某一参与人抢先开枪但却没有打中对方，那么另一个参与人会观察到这一切并轻易地干掉第一个参与人。对于这种有声决斗来说存在着纯策略均衡。而在与此相对应的**无声决斗**（silent duel）中，参与人无法知道另一参与人是何时开的枪，因而均衡也是以混合策略的形式存在着的。卡林（Karlin，1959）曾详细论述了决斗博弈，Fudenberg & Tirole（1991a）的第 4 章对于博弈的通常时间安排作了精辟讨论。也可参见 Shubik（1954），其中讨论了一个略有不同的问题，即在三方或多方战斗中谁先射击。

前面我们推导出了混合策略概率的单一数值，下面我们将再讨论一个博弈的时间安排，来看看混合策略概率分布是如何得到的。我们将运用一种新的方式来介绍这个博弈。如果一个博弈拥有一个连续的策略集合，则通过图表或者
扩展式的树来描述支付将非常困难，有时甚至不可能做到。到目前为止我们所 78
使用的图表需要具有连续的行和列，而使用的树则需要有连续的枝。在本书后面的部分，我们将使用一种新的结构来描述博弈的参与人、博弈顺序以及支付。这一新的结构与 1.1 节中干洗店博弈的描述规则类似。

新市场中的专利权争夺

参与人

三个相同的公司：Apex，Brydox 和 Central。

博弈顺序

三个公司同时选择研发费用 $x_i \geq 0(i=a,b,c)$。

支付

三个公司都是风险中性的，折现率为 0。创新发生在时间点 $T(x_i)$，其中 T 满足 $T'<0$。专利的价值是 V，如果多个参与人同时实现了创新，则他们分享 V。我们来看看公司 $i=a$，b，c 的支付，其中下标 j 和 k 代表另外两个公司：

$$\pi_i=\begin{cases} V-x_i\text{，如果 } T(x_i)<\text{Min}\{T(x_j),T(x_k)\}\text{（公司 } i \text{ 得到专利权）} \\ \dfrac{V}{2}-x_i\text{，如果 } T(x_i)\begin{cases}=\text{Min}\{T(x_j),T(x_k)\} \\ <\text{Max}\{T(x_j),T(x_k)\}\end{cases}\begin{pmatrix}\text{公司 } i \text{ 与另外一个} \\ \text{公司分享专利权}\end{pmatrix} \\ \dfrac{V}{3}-x_i\text{，如果 } T(x_i)=T(x_j)=T(x_k)\text{（三个公司共同分享专利权）} \\ -x_i\text{，如果 } T(x_i)>\text{Min}\{T(x_j),\ T(x_k)\}\text{（公司 } i \text{ 没有得到专利权）} \end{cases}$$

这个结构首先确定了博弈的名称，紧接着列出了参与人、博弈顺序（与观察者一起）以及支付函数。严格来讲，列出参与人是多余的，因为他们可以从博弈规则直接推导出来，但列出参与人可以让读者更清楚地知道这个模型是什么样子的。我们现在仅给这个结构以很简单的解释，以免混淆了对它的描述。对这个结构更详尽的解释将在以后给出。从文学的角度讲，这个确切的结构并不是很标准，但每篇好文章在开始它的技术部分时都会先确切地指明相同的信息，并因此而降低对结构的要求。我们强烈建议初学者尽可能使用他所知道的所有的结构。

因为支付函数是不连续的，所以新市场中的专利权争夺博弈不存在任何纯策略的纳什均衡。某个参与人在研发方面很小的变动都会对支付函数产生巨大的影响，这一点我们通过图 3—1 来进行说明。图 3—1 是固定 x_b 和 x_c 的值之后所作的图。图 3—1 中的研发水平并不是均衡值。如果 Apex 选择任意小于 V 的研发水平 x_a，Brydox 都会相应地选择 $x_a+\varepsilon$ 并赢得专利权。如果 Apex选择 $x_a=V$，则 Brydox 和 Central 会相应地选择 $x_b=0$ 和 $x_c=0$，这将使得 Apex 倾向于改变到 $x_a=\varepsilon$。

不过这里确实存在一个对称的混合策略均衡。将公司 i 选择低于或等于研发水平 x 的概率记为 $M_i(x)$，这个函数描述了公司的混合策略。在混合策略均衡中，如果两个纯策略之间的任何部分都是混合策略，则参与人在这两个
79 纯策略之间的任何部分中进行选择都是无差别的（3.2 节中支付均等化方法的基础）。因为我们知道，纯策略 $x_a=0$ 和 $x_a=V$ 都得到零支付，所以，如果 Apex 在支撑集 [0，V] 上选择混合策略，则每个混合策略的期望支付都应该是 0。从纯策略 x_a 得到的期望支付是获胜的期望值减去研发成本。令 x 保持

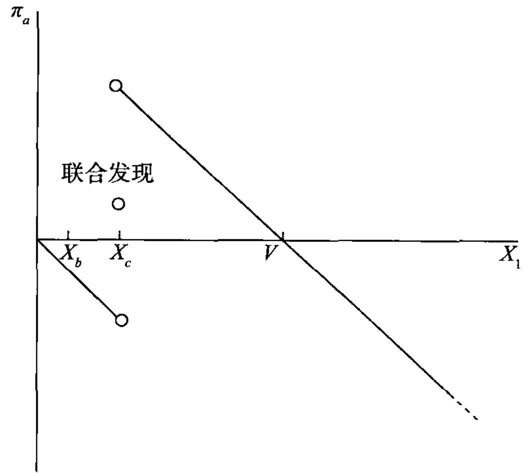


图 3—1　新市场中的专利权争夺博弈的支付

非随机，并令 X 为随机变量，则有

$$\pi_a(x_a)=V\cdot \Pr(x_a\geqslant X_b,x_a\geqslant X_c)-x_a=0=\pi_a(x_a=0) \tag{3.10}$$

可将其变形为

$$V\cdot \Pr(X_b\leqslant x_a)\Pr(X_c\leqslant x_a)-x_a=0 \tag{3.11}$$

或者

$$V\cdot M_b(x_a)M_c(x_a)-x_a=0 \tag{3.12}$$

将方程（3.12）变形为

$$M_b(x_a)M_c(x_a)=\frac{x_a}{V} \tag{3.13}$$

如果三个公司选择相同的混合分布 M，则有

$$M(x)=\left(\frac{x}{V}\right)^{1/2}，0\leqslant x\leqslant V \tag{3.14}$$

对于专利权争夺博弈来讲，值得注意的并不是纯策略均衡的不存在性，而是研发的超支。三个参与人的期望支付都是 0，因为专利值 V 在争夺过程中被完全浪费了。正如布莱希特（Brecht）的《三便士歌剧》（*Threepenny Opera*）（第三幕，第七场）所说的："最后的结果总是在所有的争夺都不再快乐之后到来。"确切地讲，因为有了专利者，创新总是可以被提前，但花在匆 80
忙创新上的成本会高于其价值。从社会的角度讲，这意味着，即使折现率是正数，这个结果也依然会保持。罗杰森（Rogerson，1982）应用一个与新市

场中的专利权争夺类似的博弈分析了政府垄断特权的竞争。同样，我们将在第 13 章看到，这正是“共同支付拍卖”的一个例子，而且当对这类冲突进行建模时，拍卖理论的技术和新发现将会是非常有用的。

相关策略

消耗战的一个例子发生在推荐一种新证券上市的时候。这个市场具有自然垄断的特点，其原因将在 8.5 节中加以解释。若干证券交易所之间为了避免两败俱伤的对称均衡，使用抽签的方法来决定由哪一家交易所来交易新上市的股票，这套系统与足球比赛中的抽签差不多。[1]虽然抽签并不能达成一个有约束力的协议，但交易所还是以此来作为协调的工具，而不是把资源浪费在争斗上。

奥曼（Aumann，1974，1987）曾指出，参与人在决定混合策略时能否使用相同的随机化工具常常是重要的。如果他们可以这样做，那么我们将得到的策略称为**相关策略**（correlated strategies）。不妨以斗鸡博弈为例来加以说明。在该博弈中，唯一的混合策略均衡便是那个对称均衡，每个参与人以 0.25 的概率选择坚持，而期望支付为 0.75。这个博弈的一个相关策略均衡是这样的——两个参与人站在一起掷硬币，如果硬币面朝上，则史密斯选择坚持，否则琼斯选择坚持。每个参与人的策略都是对其他参与人策略的最佳反应，每个参与人选择坚持的概率都是 0.5，每个参与人的期望支付都为 1.0，这比无相关策略的情况下所得到的 0.75 要好一些。

当模型涉及相关均衡的时候，随机化工具通常并不被明确地加以模型化。若它得到了模型化，则我们称那些并不影响偏好、禀赋或生产变量的不确定性为**外在不确定性**（extrinsic uncertainty）。有一类模型被称为**太阳黑子模型**（sunspot models），之所以这么叫是因为太阳黑子的随机出现也许会通过相关均衡（Maskin & Tirole，1987）或参与人之间的赌注（Cass & Shel，1983）来造成宏观经济变化。而外在不确定性正是太阳黑子模型背后的推动力量。

模型化相关策略的一种方法就是规定一个这样的行动，在这个行动中，自然以相同的概率给每个参与人以首先承诺选择某一行动（如坚持）的能力。这常常是现实的，因为两个参与人在完全相同的时间进入该行业的概率为零，而事前没有人知道幸运的先行者到底是谁。没有一家公司拥有先行优势，但结果却是有效的。

对混合策略的总体解释并不适用于相关策略。在普通的混合策略中，混合概率在统计意义上是相互独立的，但在相关策略中却不然。在斗鸡博弈中，通常的混合策略可以被解释为由史密斯们和琼斯们所组成的两类不同总体，

每个总体都由两类人（一类是纯粹的避让者，一类是纯粹的坚持者）按一定比例组成。但是对于相关均衡却无此类解释。

对于诸如性别战这一类存在协调问题的博弈来说，有一种协调的工具格外有效，这就是**廉价交谈**（cheap talk）（Crawford & Sobel，1982；Farrell，1987）。廉价交谈指的是在博弈正式开始之前的无成本的沟通。在分级协调中，廉价交谈立即就会让参与人把众望所归的结果变为聚点。在斗鸡博弈中，廉价交谈是无济于事的，因为对于每个参与人来说，宣称自己会选择坚持都 81
是有益无害的。但是在性别战中，协调与冲突是结合在一起的。如果事先不能沟通，那么唯一的对称均衡便是混合策略。如果两个参与人都知道，前后言行不一将会导致有浪费的混合策略的结果，那么他们将会时而宣布自己想去看芭蕾，时而宣布自己想去看拳击。在最后作决定前经过许多期的沟通，他们达成一致的可能性很大。因此，即使在两个参与人之间存在冲突，交流也有助于提高效率。

*3.3 一般参数且有 *N* 个参与人情况下的混合策略：市民责任博弈

在已经考察过若干具有混合策略均衡的特定博弈之后，现在我们可以将这一套方法应用于如表 3—5 所示的一般博弈。

表 3—5 **一般 2×2 博弈**

		列	
		左 (θ)	右 ($1-\theta$)
行	上 (γ)	a，w	b，x
	下 ($1-\gamma$)	c，y	d，z

支付：(行，列)。

为找到该博弈的均衡，我们把由各个纯策略所带来的支付设为相等。对行来说，可以得到

$$\pi_{行}(上)=\theta a+(1-\theta)b \tag{3.15}$$

和

$$\pi_{行}(下)=\theta c+(1-\theta)d \tag{3.16}$$

令方程（3.15）和方程（3.16）相等，于是有

$$\theta(a+d-b-b)+b-d=0 \tag{3.17}$$

从而得到

$$\theta^{*}=\frac{d-b}{(d-b)+(a-c)} \tag{3.18}$$

与此类似，将列的支付设为相等，可以得到

$$\pi_{列}(左)=\gamma w+(1-\gamma)y=\pi_{列}(右)=\gamma x+(1-\gamma)z \tag{3.19}$$

从而有

$$\gamma^{*}=\frac{z-y}{(z-y)+(w-x)} \tag{3.20}$$

82 方程（3.18）和方程（3.20）所代表的均衡体现出了混合策略的一系列特点。

第一，在混合策略均衡实际上并不存在时，采用支付均等化方法来找混合策略虽然也是可能的，但却是错误的。例如，假定上是行的强优势策略，因此有 $c>a$ 且 $d>b$。也就是说，行是不愿意混合的，因此均衡并不以混合策略的形式存在。在这种情况下，方程（3.18）看起来就有些误导了，虽然头脑清醒的人并不会被这个结果所蒙蔽，因为此时方程（3.18）意味着 $\theta^{*}>1$ 或者 $\theta^{*}\leqslant 0$。

第二，混合策略均衡的具体结果，强烈地依赖于支付的基数特点和取值，而不是像其他 2×2 博弈的纯策略均衡那样，只取决于支付的序数值。序数排序只能使我们知道混合策略均衡是否存在，但只有基数值才能告诉我们具体的混合概率是多少。在囚徒困境中，列由（坦白，坦白）所得到的支付略有变化，但并不会对均衡造成影响。与此相对照，如果在一般的 2×2 博弈中，列从（下，右）所得到的支付稍微增加，方程（3.20）表明混合概率 γ^{*} 也会改变。

第三，虽然基数支付值是重要的，但对支付作仿射变换不会对博弈产生重大影响（这也就是说，单调但非仿射的变换是会造成差异的）。把表 3—5中的每一个支付 π 都变成$\alpha+\beta\pi$，方程（3.20）将变为

$$\begin{aligned}\gamma^{*}&=\frac{\alpha+\beta z-\alpha-\beta y}{(\alpha+\beta z-\alpha-\beta y)+(\alpha+\beta w-\alpha-\beta x)}\\&=\frac{z-y}{(z-y)+(w-x)}\end{aligned} \tag{3.21}$$

可见仿射变换并未改变均衡策略。

第四，正如在前面的福利博弈中曾经提到过的那样，每一参与人的混合

概率都只取决于另一参与人的支付参数。在方程（3.21）中，行的策略 γ^* 取决于参数 w，x，y 和 z，这些都是列的支付参数而与行并无直接关联。

具有混合策略的博弈的类别

表 3—6 借用如表 3—5 所示的参与人和行动来勾勒三类主要的 2×2 博弈，这三类博弈的共同特点是，混合策略均衡在其中具有重要地位。有一些博弈不属于上述类别中的任何一种，比如像瑞士象棋博弈那样具有相等支付的博弈，在该博弈中，全部 8 个支付都等于 0。但是表 3—6 中的三种博弈仍可以涵盖广泛的经济现象。

表 3—6　　具有混合策略均衡的 2×2 博弈

a, w	→	b, x
↑		↓
c, y	←	d, z

a, w	←	b, x
↓		↑
c, y	←	d, z

非协调博弈

a, w	←	b, x
↑		↓
c, y	→	d, z

协调博弈

a, w	→	b, x
↓		↑
c, y	←	d, z

贡献博弈

支付：（行，列）。箭头表示参与人如何增加支付。

非协调博弈（discoordination games）只有一个均衡，且该均衡是以混合策略的形式存在的。支付满足下述条件之一：（a）$a>c$，$d>b$，$x>w$ 且 $y>z$；（b）$c>a$，$b>d$，$w>x$ 且 $z>y$。福利博弈就是一个非协调博弈，下一节中要讨论的审计博弈Ⅰ（auditing game Ⅰ）和习题 3.3 要涉及的凑硬币（matching pennies）都是这类博弈。

协调博弈（coordination games）拥有三个均衡——两个以纯策略形式存在的对称均衡和一个以混合策略形式存在的对称均衡。支付满足 $a>c$，$d>b$，$w>x$ 且 $z>y$。分级协调和性别战是协调博弈的两个变形，在前一个博弈中，参与人在纯策略均衡时对各个均衡的排序是相同的，而在后一个博弈中，参与人在纯策略均衡时对各个均衡的排序却是相反的。 83

贡献博弈（contribution games）也拥有三个均衡——两个以纯策略形式存在的非对称均衡和一个以混合策略形式存在的对称均衡。支付满足 $c>a$，$b>d$，$x>w$ 且 $y>z$，同时它还必须保证 $c<b$ 且 $y>x$。

我给这种博弈起名叫“贡献博弈”，是因为这个术语所描述的那种博弈常常用于模型化这样一种情况——两个参与人都可以选择会贡献公共产品的那种行动，虽然每个人都希望由别人来承担成本。与囚徒困境有所不同的是，在贡献博弈中每个参与人在不得已的情况下都会独自承担成本。

贡献博弈看起来与性别战相去甚远，但是二者在本质上是相同的。它们都有两个纯策略均衡，且两个参与人对均衡的排序是相反的。虽然贡献博弈

的均衡是在结果矩阵的西南角和东北角，而协调博弈的均衡是在西北角和东南角，但从数学上而言这一差别是无关紧要的，仅仅通过改变参与人策略的顺序就可以改变均衡的位置。然而，我们是依据均衡时参与人是选择了不同的行动还是选择了相同的行动来判断真实情况是否有所不同的。

下面我们以一个特殊的贡献博弈为例来说明如何将一个二人博弈扩展为多个参与人的博弈。社会心理学中一个声名狼藉的案例就是“吉蒂谋杀案”。吉蒂于 1964 年在纽约被杀，多位邻居都目睹了这一幕却无人报警。“在半小时内，皇后街区 38 位值得尊敬的、守法的公民眼睁睁地看着一个凶手在邱园三次追杀同一个女子……有两次，他们发出的声音和他们卧室里突然亮起的灯光都让凶手吓得停了下来。但每一次他都返回去，找到她并刺杀她。整个过程没有一个人报警。直到这个女子死后才有一名目击者给警察局打了电话。”(Martin Gansberg, “38 Who Saw Murder Didn't Call Police,” *The New York Times*, March 27, 1964, p. 1) 即使像我这么一个硬心肠的经济学家也觉得把这叫作一个“博弈”的确令人反感，但是博弈论确实可以解释所发生的一切。

我们在模型中不妨设想一种不那么刺激的场景。在如表 3—7 所示的市民责任博弈中，史密斯和琼斯都目击了一桩抢劫案的发生。他们每个人都希望有人报警来制止这一抢劫，因为抢劫不能得逞会使目击者的支付增加 10。但每个人都不愿自己去报警，因为这一番周折会使自己的支付减少 3。也就是说，如果史密斯确信琼斯会去报警，那么史密斯是不会去报警的，而只会袖手旁观。表 3—7 给出了支付。

表 3—7　　　　市民责任博弈

		琼斯		
		袖手旁观 (γ)		报警 ($1-\gamma$)
史密斯	袖手旁观 (γ)	0，0	→	**10，7**
		↓		↑
	报警 ($1-\gamma$)	**7，10**	←	7，7

支付：(史密斯，琼斯)。箭头表示参与人如何增加支付。

市民责任博弈有两个非对称的纯策略均衡和一个对称的混合策略均衡。在解混合策略均衡时，让我们由两个参与人变为 N 个参与人。在这个 N 个参
84 与人的博弈中，对于史密斯而言，若无人报警，则支付为 0；若他本人报警，则支付为 7；若其他 $N-1$ 个参与人中有人报警，则支付为 10。这个博弈还有一个非对称的纯策略均衡和一个对称的混合策略均衡。如果所有参与人都以同样的概率 γ 来选择袖手旁观，那么除史密斯之外其他 $N-1$ 个参与人都选择

袖手旁观的概率为γ^{N-1}，因此他们之中有人报警的概率为$1-\gamma^{N-1}$。使用计算均衡的支付均等化方法将史密斯的纯策略的支付设为相等，有

$$\pi_{史密斯}(报警)=7=\pi_{史密斯}(袖手旁观)=\gamma^{N-1}(0)+(1-\gamma^{N-1})(10) \tag{3.22}$$

我们由方程（3.22）可以得到

$$\gamma^{N-1}=0.3 \tag{3.23}$$

因此

$$\gamma^{*}=0.3^{1/(N-1)} \tag{3.24}$$

若$N=2$，则史密斯选择袖手旁观的概率为0.30。随着N的增加，不管$N=2$还是$N=38$，史密斯的期望支付始终是7，因为他的期望支付总是等于他由纯策略报警所得到的支付。然而，他选择袖手旁观的概率γ^{*}会随着N的增加而增加。当$N=38$时，γ^{*}的值接近于0.97。也就是说，当聚集的人越来越多时，每个参与人都越来越指望别人去报警。

无人报警的概率是γ^{*N}。方程（3.23）表明$\gamma^{*N-1}=0.3$，由此可得，$\gamma^{*N}=0.3\gamma^{*}$，这显然是随着$N$的增加而增加的。当$N=2$时，无人报警的概率是$\gamma^{*2}=0.09$；而当有38个参与人时，无人报警的概率是$\gamma^{*38}$，约为0.29。即目击犯罪的人越多，有人报警的概率就越小。

与囚徒困境一样，市民责任博弈的令人失望的结果也使人们希望有积极政策的干预。混合策略的结果显然是不好的。无论参与人是1个还是38个，人均期望支付始终都是7，而如果实现的均衡是有且仅有一个参与人报警，则平均支付由1个人时的7上升为38个人时的大约9.9（$=(1\times7+37\times10)/38$）。要出现这种情况，需要有某些东西来使得某一纯策略均衡成为一个聚点。问题就在于责任的分割，某一个参与人必须肩负起报警的责任，这既可以通过传统来实现（如社区中最年长者去报警），也可以通过指挥来实现（如史密斯对着琼斯大喊："去报警！"）。

*3.4 随机化并不总是混合的：审计博弈

混合策略与随机行动之间存在着微妙但却重要的区别，下述三个博弈就将说明这种区别。在所有这三个博弈中，税务局都必须决定是否对某一笔特定的税收收入进行审计，以验证其是否准确。税务局的目标是以最小成本来防止或查出偷税行为。而嫌疑人只有当他们不会被查出时才会想偷税。我们不妨假定防止或查出偷税行为的收益为4，审计的成本为C，而$C<4$；嫌疑 85

人依法纳税的成本为 1，被查出偷税的成本是罚款 $F>1$。

即使有了所有这些信息，依然有几种方法来模型化这种情况，表 3—8 给出了一个方法：模型化为一个 2×2 的同时行动博弈。

表 3—8　　　　审计博弈 I

		嫌疑人		
		偷税（θ）		不偷税（$1-\theta$）
税务局	审计（γ）	$4-C$，$-F$	→	$4-C$，-1
		↑		↓
	不审计（$1-\gamma$）	0，0	←	4，-1

支付：（税务局，嫌疑人）。箭头表示参与人如何增加支付。

审计博弈 I 是一个非协调博弈，且只有一个混合策略均衡。运用方程（3.18）和方程（3.20）或是支付均等化方法，都可以得到

$$\Pr(\text{偷税})=\theta^*=\frac{4-(4-C)}{[4-(4-C)]+[(4-C)-0]}$$
$$=\frac{C}{4} \tag{3.25}$$

和

$$\Pr(\text{审计})=\gamma^*=\frac{-1-0}{(-1-0)+[-F-(-1)]}$$
$$=\frac{1}{F} \tag{3.26}$$

由方程（3.25）和方程（3.26），可以得到支付

$$\pi_{\text{税务局}}(\text{审计})=\pi_{\text{税务局}}(\text{不审计})=\theta^*(0)+(1-\theta^*)(4)$$
$$=4-C \tag{3.27}$$

和

$$\pi_{\text{纳税人}}(\text{纳税})=\pi_{\text{纳税人}}(\text{偷税})=\gamma^*(-F)+(1-\gamma^*)(0)$$
$$=-1 \tag{3.28}$$

第二种方法就是把这种情况模型化为一个序贯博弈。我们不妨称之为审
86 计博弈 II。同时行动博弈隐含地假定了参与人在选择行动之时都不知道其他参与人已经选择了什么。在序贯博弈中，税务局首先选择政府政策，而嫌疑人则对此作出反应。审计博弈 II 的均衡是以纯策略的形式存在的，而这一点是具有完美信息的序贯博弈的一般特点。在均衡时，税务局选择审计，且预计嫌疑人随后会选择纳税。税务局的支付是 $4-C$ 而嫌疑人的支付是 -1，两

个参与人的支付都同在审计博弈Ⅰ中一样，虽然现在审计的次数更多而偷税和罚款的次数更少。

我们还可以更进一步，假定税务局采取的政策不必一视同仁，相反，它可以对一个随机样本进行审计。这并不一定是一个混合策略。在审计博弈Ⅰ中，均衡策略是以 $1/F$ 的概率对全部嫌疑人进行审计，而一个也不审计的概率为 $1-1/F$。这与税务局事先就宣布要对占嫌疑人总数 $1/F$ 的一个随机样本进行审计是不一样的。在审计博弈Ⅲ中，假定税务局首先行动，但它的行动就是选择对全部税收进行审计的比例 α。

我们知道税务局是力图让嫌疑人打消偷税念头的，因为如果必须的话，税务局是会选择 $\alpha=1$ 从而再现审计博弈Ⅱ的结果的。它会选择 α，使得

$$\pi_{\text{纳税人}}(\text{纳税})\geqslant\pi_{\text{纳税人}}(\text{偷税}) \tag{3.29}$$

也就是说，

$$-1\geqslant\alpha(-F)+(1-\alpha)(0) \tag{3.30}$$

因此，在均衡时税务局选择 $\alpha=1/F$ 而嫌疑人选择纳税。税务局的支付是 $4-\alpha C$，这要好于在其他两个博弈中的 $4-C$。嫌疑人的支付与以前的一模一样，仍为 -1。

审计博弈Ⅲ的均衡是以纯策略形式存在的，虽然税务局的行动是随机的。它与审计博弈Ⅰ有所不同，因为即使嫌疑人选择了纳税，税务局也必须继续进行徒劳无益的审计。审计博弈Ⅲ还在另外一方面有所不同——它的行动集是连续的。在审计博弈Ⅰ和审计博弈Ⅱ中，行动集都是（审计，不审计），虽然在允许混合策略时策略集变为 $\gamma\in[0,1]$。在审计博弈Ⅲ中，行动集是 $\alpha\in[0,1]$，而策略集也允许行动集中的任何元素进行混合，虽然在序贯博弈的情况下混合策略对税务局而言并无意义。

具有混合策略的博弈类似于具有连续策略的博弈，因为概率是从 0 到 1 之间的连续区间上抽取的。审计博弈Ⅲ也具有在 [0，1] 区间上抽取的策略，但如果采取审计概率（例如 70%）的话，它就不再是混合策略了。一个混合策略的例子是：以 0.5 的概率选择审计概率 60%以及以 0.5 的概率选择审计概率 80%。对于审计概率为 0.70 的纯策略与（0.5—60%审计，0.5—80%审计）的混合策略，虽然两者都得到审计概率 70%，但它们之间有巨大的差别：纯策略是不可逆的选择，即使对于参与人来讲，各种纯策略并不是毫无差别的，这种纯策略也同样可能会被选择使用；而混合策略是一个参与人处于均衡状态的结果，在这种情况下，他无论做什么都是没有差别的。下一节将说明混合策略与连续策略的另一个不同——虽然从方程（3.15）和方程（3.16）

中可以明显地发现支付是混合策略概率的线性函数，但是在更为一般的连续策略中，两者间可能是非线性的。

87 我在这里使用审计模型主要用来说明哪些是混合策略而哪些不是，但审计自身就是非常有意思的，而且最优审计方案有很多有意义的结果。**交叉检验**（cross-checking）的想法就是一个例子。假设一位审计员想要检查某些变量 $x\in[0, 1]$ 的价值，但他的雇主担心他可能会报告虚假的价值。这可能是因为审计员很懒，只是猜测 x 的值而不是努力去检验其真值，也可能是因为第三方的贿赂，或是因为某些 x 会触犯审计员不喜欢的惩罚措施或政策（即使 x 代表审计员在某些其他任务中的行动，这个模型依然可用）。交叉检验的想法是雇用另外一个审计员，并且要求他在同一时间报告 x。如果两个审计员报告的 x 相同，则他们都被奖励；但如果他们报告了不同的值，则他们都将受到惩罚。这里可能仍然会存在多重均衡（multiple equilibria），因为任何一种他们汇报相同值的状态都是一个均衡，但至少真实汇报成为一个可能的均衡。关于这方面的细节，请参见 Kandori & Matsushima（1998），同时，我们会在第 10 章对交叉检验作更深层次的讨论。

3.5 连续策略：古诺博弈

到目前为止，在本书所涉及的博弈中，绝大多数都具有离散的策略空间：救济或不救济，坦白或抵赖。而当策略是离散的且行动是同时的情况下，纯策略均衡常常不存在。比方说，在福利博弈中唯一的折中的办法就是有时选择救济，有时选择不救济，即选择混合策略。如果少量救济是可能的行动的话，则纯策略均衡也许就会存在了。我们下面要讲的同时行动博弈——古诺博弈（the Cournot game）——即使不进行混合也有一个连续的策略空间。古诺博弈模型化的是这种情况：两家公司形成双头垄断，它们彼此竞争的手段就是选择产量水平。

古诺模型

参与人

Apex 公司和 Brydox 公司。

博弈顺序

Apex 和 Brydox 同时在连续集合 $[0, \infty)$ 中选择产量 q_a 和 q_b。

支付

边际成本是常数 $c=12$。需求是总销售数量的函数 $Q=q_a+q_b$，并且假定它是线性函数（我们将在第 14 章讨论一般情形），实际上，我们将

应用如下确切的函数：

$$p(Q)=120-q_a-q_b \qquad (3.31)$$

支付是利润，等于一个公司的价格乘以产量减去其成本，即

$$\pi_{\text{Apex}}=(120-q_a-q_b)q_a-cq_a=(120-c)q_a-q_a^2-q_aq_b$$
$$\pi_{\text{Brydox}}=(120-q_a-q_b)q_b-cq_b=(120-c)q_b-q_aq_b-q_b^2 \qquad (3.32)$$

如果这是一个合作博弈（具体见 1.2 节），那么公司的产量将位于图 3—2 中 45°线上的某一位置，因为在该处总产量是垄断产量，而支付之和也得到了最大化。具体说来，垄断产量就是通过选择总产量 Q 来最大化 $pQ-cQ=(120-Q-c)Q$，通过求解一阶条件得到： 88

$$120-c-2Q=0 \qquad (3.33)$$

由此得出总产出 $Q=54$，并进而推出价格为 66。具体到每家公司生产总产量 54 中的多少——公司的产量应位于 45°线上——是一个零和合作博弈问题，也是一个讨价还价的例子。但由于古诺模型是非合作的，所以类似于 $q_a+q_b=54$ 之类的策略组合未必能形成均衡，尽管它们是帕累托最优的（帕累托最优是从两个参与人而不是从消费者的角度来定义的，并且暗含不能使用价格歧视的假定）。

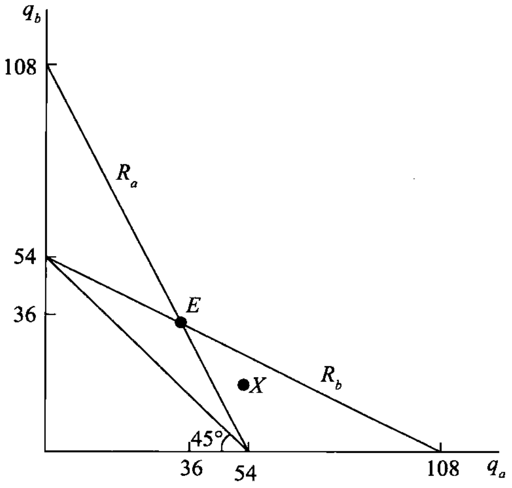


图 3—2　古诺博弈中的反应曲线

古诺在他 1838 年书中的第 7 章指出，当需求曲线是线性的时候，这个博弈只有一个均衡。要找出古诺-纳什均衡，我们需要考虑两个参与人的**最优反**

应函数（best-response functions）。若 Brydox 公司的产量为 0，则 Apex 公司就会把自己的产量定为垄断产量 54。若 Brydox 公司的产量 $q_b>108$ 或者更多，则市场价格会降到 12，因此 Apex 公司的产量为 0。Apex 公司的支付由方程（3.32）给出，它通过选择策略 q_a 来最大化其支付，得出最优反应函数。由此推导出一阶条件为 $120-c-2q_a-q_b=0$，或者

$$q_a=60-\frac{q_b+c}{2}=54-\frac{1}{2}q_b \tag{3.34}$$

最优反应函数的另一个名字常常见诸对古诺博弈的介绍中，叫作**反应函数**（reaction function）。其实这两个名字都起得不好，因为参与人是同时行动的，他们没有机会来作出答复或反应，但是这些名字有助于想象，如果博弈
89 的规则允许某一参与人后行动，他会做什么。在图 3—2 中，两家公司的反应函数分别为 R_a 和 R_b。它们相交于点 C，点 C 就是**古诺-纳什均衡**（Cournot-Nash equilibrium）点；当策略指的就是产量的时候，这也即纳什均衡。从数字上讲，我们是通过将两个关于 q_a 和 q_b 的反应函数联立求解得到唯一的一个均衡 $q_a=q_b=40-c/3=36$ 的，其均衡价格是 48(=120－36－36)。

古诺博弈中的纳什均衡具有一个很好的性质——**稳定性**（stability）。我们可以设想一下参与人是如何由某一其他策略组合开始而最终达到均衡的。例如，如果最初的策略组合是图 3—2 中的点 X，那么 Apex 公司的最佳反应是减少 q_a 而 Brydox 公司则会提高 q_b，这显然是将策略组合进一步往均衡靠拢了。但这只是在古诺博弈中出现的特例，一般的纳什均衡并不总是稳定的。

斯塔尔伯格均衡

模型化双头垄断的方法可谓多种多样，最显著的三种方法是古诺方法、斯塔尔伯格方法和伯特兰方法。斯塔尔伯格均衡与古诺均衡的不同之处在于，一家公司将首先选择其产量。若 Apex 公司首先行动，则它会选择什么产量呢？Apex 公司知道 Brydox 公司将如何对自己的选择作出反应，因此它将在 Brydox 公司的反应曲线上挑选可以最大化自己利润的那一点。

斯塔尔伯格博弈

参与人

Apex 公司和 Brydox 公司。

博弈顺序

1. Apex 从集合 $[0, \infty)$ 中选择产量 q_a；
2. Brydox 从集合 $[0, \infty)$ 中选择产量 q_b。

支付

边际成本是常数 $c=12$。需求是总销售数量的函数，$Q=q_a+q_b$。

$$p(Q)=120-q_a-q_b \tag{3.35}$$

支付是利润，等于一个公司的价格乘以产量减去其成本，即

$$\pi_{\text{Apex}}=(120-q_a-q_b)q_a-cq_a=(120-c)q_a-q_a^2-q_aq_b$$
$$\pi_{\text{Brydox}}=(120-q_a-q_b)q_b-cq_b=(120-c)q_b-q_aq_b-q_b^2 \tag{3.36}$$

首先行动的参与人 Apex 被称为**斯塔尔伯格领导者**（Stackelberg leader），另一参与人 Brydox 则被叫作**斯塔尔伯格跟随者**（Stackelberg follower）。斯塔尔伯格均衡的显著特点在于，一个参与人必须首先对自己的行动作出承诺。 90
在图 3—3 中，Apex 公司首先行动。如果行动是同时的，但 Apex 公司可以承诺自己一定会采取某一特定的策略而 Brydox 公司不能，那么也会达到同样的均衡。从数学上讲，因为由类似方程（3.34）的做法可以得出 $q_b=60-(q_a+c)/2$ 且 Apex 公司预期 Brydox 公司就将这样来作出反应，所以 Apex 公司可以将这一等式代入方程（3.32）的支付函数之中，从而有

$$\pi_a=(120-c)q_a-q_a^2-q_a\left(60-\frac{q_a+c}{2}\right) \tag{3.37}$$

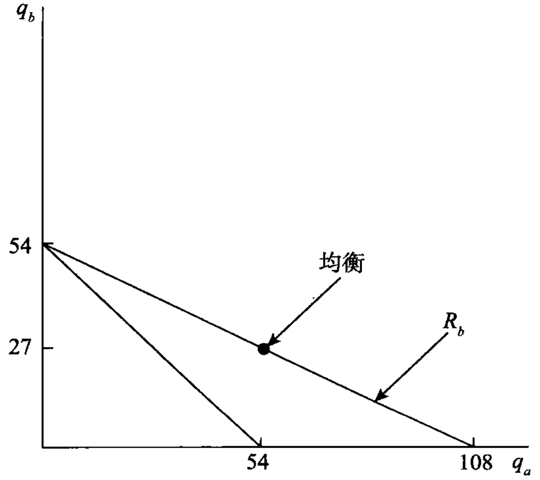


图 3—3　斯塔尔伯格均衡

选择 q_a 来达到最大化，从而得到一阶条件

$$(120-c)-2q_a-60+q_a+\frac{c}{2}=0 \tag{3.38}$$

可以求得 Apex 公司的反应函数 $q_a=60-c/2=54$（这个数字与垄断产出相等只是一个巧合，这是由于我们在这个例子中对数字的特殊选取所造成的）。一旦 Apex 公司选择了这一产量，Brydox 公司就会把产量设为 $q_b=27$（Brydox 公司的产量为垄断产出的一半仅仅是巧合）。对两家公司来说，市场价格都是 $120-54-27=39$，因此 Apex 公司显然因自己斯塔尔伯格领导者的地位而受益匪浅，但是相比于古诺均衡而言，工业利润下降了。

3.6 连续策略：伯特兰博弈、策略互补和策略替代

在双寡头模型中，两个公司同时确定产品产量，这个模型有一个自然的替代模型，即让两个公司同时确定价格。伯特兰（Bertrand）在 1883 年写了一本对古诺作品进行综合评述及讨论的书，因为伯特兰在这本书中着重讨论了在这两种模型之间进行选择的难点，所以后一种情形被称作**伯特兰均衡**
91 (Bertrand equilibrium)。我们将像以前一样应用拥有两个参与人并满足线性条件的模型，但现在我们的策略空间不再是产量，而是价格。我们将继续使用同样的需求函数（3.31），这时 p 代表最低价格，而且 $q=120-p$。在古诺模型中，公司选择产量，但允许市场价格随意变动。在伯特兰模型中，他们选择价格，并且可以以任何数量出售。

伯特兰模型

参与人

Apex 公司和 Brydox 公司。

博弈顺序

Apex 和 Brydox 同时在连续集合 $[0, \infty)$ 中选择价格 p_a 和 p_b。

支付

边际成本是常数 $c=12$。需求是总销售数量的函数 $Q(p)=120-p$。

Apex 公司的支付函数（Brydox 公司的支付函数与之类似）是：

$$\pi_a=\begin{cases}(120-p_a)(p_a-c)，& p_a<p_b\\ \dfrac{(120-p_a)(p_a-c)}{2}，& p_a=p_b\\ 0，& p_a>p_b\end{cases}$$

伯特兰博弈存在一个唯一的纳什均衡：$p_a=p_b=c=12$，此时 $q_a=q_b=54$。很明显，这是一个弱纳什均衡：如果任何一个公司偏离了均衡价格而采取更高的价格，则它就会失去所有的顾客以至于利润降到零。实际上，这是一个处于弱优势策略下纳什均衡的例子。均衡是唯一的这一点不再那么明显。为了理解这一点，我们将可能的策略组合分为四组：

（1）$p_a<c$ 或 $p_b<c$。在任一情形中，价格最低的公司将获得负利润，通过调整价格，它可以让价格高到将需求降低到零的程度，并进而使得自己的利润为零，这相比于负利润是一个更为有利的情况。

（2）$p_a>p_b>c$ 或 $p_b>p_a>c$。在任一情形中，价格更高的公司都可以通过调整将价格降到竞争者之下，并进而将它的利润从零增加到某个正数值。

（3）$p_a=p_b>c$ 。在这种情形下，Apex 公司可以将价格调整到比 Brydox 公司低 ϵ。这样，它的销量就可以从市场需求量的一半增加到完全的市场需求量，而产品的单位利润率仅降低了一点点，所以 Apex 公司的利润会增加。

（4）$p_a>p_b=c$ 或 $p_b>p_a=c$。在这种情形下，价格为 c 的公司可以将价格稍微提高一点点，并保持其低于竞争公司的价格，这样它就可以将利润从零增加到某个正数值。

在这个证明过程中，我们将策略组合空间进行分类，并逐类推导可能出现的情况，这个方法在博弈论中证明均衡的唯一性时会经常用到。以上给出了一个非常好的例子，我强烈建议任何一个讲授本书的教师都将其作为一道很好的考试题目。[2] 92

就像囚徒困境的令人吃惊的结果一样，伯特兰均衡也同样有令人吃惊的结果，而一旦考虑到这个模型的限制，其结果就显得不那么惊人了。伯特兰模型所展示的结果是，正是由于市场上仅有两家企业，所以双寡头利润不会增加。利润会在其他地方增加，诸如复合周期、信息不完备或者产品多样化。

伯特兰模型和古诺模型都在被普遍地使用着。采取些许的降价就可以将市场占有率从 0 一下子增加到 100%，这是一个非连续跳跃，使得伯特兰模型的数学描述显得非常笨拙。古诺模型作为一个简单的模型，由于其避免了这一问题而显得更加实用，同时，这一模型也预测，当更多的公司加入到市场中后，价格会逐渐下降。我们还可以通过修正伯特兰模型来获得中间价格，并看到由于公司新进入而逐渐对价格产生的影响。下面我们进一步研究一个这样的修正。

异质伯特兰博弈

由于只需要提供非常少的价格折扣就可以吸引顾客，所以伯特兰模型会

导致零利润。其背后的假定是，两个公司销售相同的商品，所以如果 Apex 公司的价格比 Brydox 公司的稍微高一点点，就会让所有的消费者冲向 Brydox 公司。如果消费者具有品牌忠诚度或者很少的价格信息，均衡就不一样了。现在我们转向一个不同的双寡头市场，在该市场上 Apex 公司和 Brydox 公司所面临的需求曲线是

$$q_a = 24 - 2p_a + p_b \tag{3.39}$$

和

$$q_b = 24 - 2p_b + p_a \tag{3.40}$$

而且边际成本为 $c=3$，是常量。

在类似于（3.39）式和（3.40）式的生产曲线上，价格系数的差别越大，产品的可替换性就越小。对于诸如（3.31）式的标准需求函数，我们给出了关于方程（3.39）和方程（3.40）的极点的隐性假设。只有当需求的数量是非负数时，才可以使用这些方程；同时，由于当其他公司给出的价格趋于无穷时某一公司所面对的需求数量是无穷的，所以我们还可能需要对价格作出限制，使之低于某一数值。在这里，一个明智的价格约束值是 12，因为当 $p_a>12$ 且 $p_0=0$ 时，方程（3.39）将导致 Apex 公司的需求量为负值。保持这些约束，则支付为

$$\pi_a = (24 - 2p_a + p_b)(p_a - c) \tag{3.41}$$

和

$$\pi_b = (24 - 2p_b + p_a)(p_b - c) \tag{3.42}$$

93 博弈顺序同伯特兰博弈相同（为了不引起混淆，我们将之前所讨论的博弈称为非异质伯特兰博弈）：Apex 公司和 Brydox 公司同时在集合 $[0, \infty)$ 中选择价格 p_a 和 p_b。

通过选择适当的 p_a 以最大化 Apex 公司的支付，我们得到一阶条件

$$\frac{\mathrm{d}\pi_a}{\mathrm{d}p_a} = 24 - 4p_a + p_b + 2c = 0 \tag{3.43}$$

以及反应函数

$$p_a = 6 + \frac{1}{2}c + \frac{1}{4}p_b = 7.5 + \frac{1}{4}p_b \tag{3.44}$$

由于 Brydox 公司拥有平行的一阶条件，所以均衡出现在 $p_a = p_b = 10$ 的情形。每家公司的产量都是 14，这一数值小于 21（在这种情况下，每家公司的价格是 $p_a = p_b = c = 3$）。图 3—4 显示，反应函数是相交的。Apex 公司需求曲线的弹性为

$$\left(\frac{\partial q_a}{\partial p_a}\right)\cdot\left(\frac{p_a}{q_a}\right)=-2\left(\frac{p_a}{q_a}\right) \tag{3.45}$$

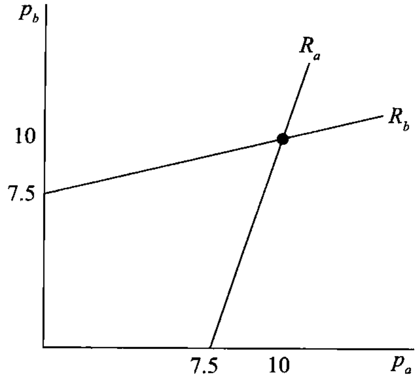


图 3—4 异质产品的伯特兰反应函数

与非异质伯特兰模型的情形不同，该弹性即使在 $p_a=p_b$ 时也是有限的。

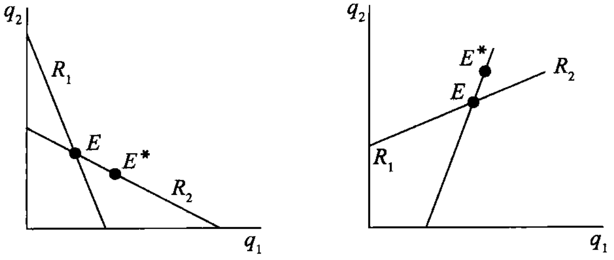
在很多情况下，异质伯特兰模型可以最逼真地描述市场现状，因而这是一个非常重要的模型。市场营销理论中的一个基本观点是，销售取决于"4P"：产品（product）、渠道（place）、促销（promotion）以及价格(price)。经济学家着重强调不同产品的价格差异，但我们意识到，产品的质量差异和品性差异以及销售人员如何从购买者那里得到信息都对销售起着重要的作用。比起产品的质量，销售人员会更经常地使用价格来控制销售量，而且，提供最低价格的销售人员并不会得到所有的消费者。

那么我为什么还要费心描述古诺模型和非异质伯特兰模型呢？它们不是已经作废了吗？并不是的，因为最贴近现实地描述问题并不是建模的最高目标，简单性也是非常重要的一个方面。古诺模型和非异质伯特兰模型更为简单，特别是当我们考虑三家或者更多家公司时更是如此，所以在很多应用情形中，这两个是更好的模型。

策略替代与策略互补

观察图 3—2 与图 3—4 中古诺反应曲线以及异质伯特兰反应曲线，可以 94
发现一个有趣的区别：反应曲线向相反的方向倾斜。图 3—5 将这两条曲线放在一起以便比较。

在两个模型中，反应曲线均相交一次，因而存在唯一的纳什均衡。但在均衡轨道上，存在一个有趣的区别。如果古诺模型中的一家公司增加其产出，则其对手将逆向操作并减少自己的产出。如果伯特兰模型中的一家公司提高



(a) 策略替代　　(b) 策略互补

图 3—5　古诺与异质伯特兰反应函数（策略替代与策略互补）

其价格，则其对手会采取相同的策略并提高价格。

对每一种博弈情形，我们可能会问："如果其他参与人采取的策略是做得更多，那么我要采取的策略是做得更多还是更少呢?"在某些情形中，答案是"做得更多"，而另一些情形的答案是"做得更少"。杰里米·布洛、约翰·吉那科普洛斯和保罗·克伦佩雷尔（Jeremy Bulow，John Geanakoplos & Paul Klemperer，1985）应用"策略互补"来研究"做得更多"情形的博弈。在这种情形下，当参与人Ⅰ采取的策略是做得更多时，将会增加参与人Ⅱ的边际成本，这就好比是当我购买更多面包时，将增加我购买更多黄油的边际效用。如果参与人所采取的策略是策略互补的，则他们的反应曲线就会向上倾斜，如同异质伯特兰博弈中的情形一样。

另一方面，对于"做得更少"类型的博弈，当参与人Ⅰ采取的策略是做得更多时，将会减少参与人Ⅱ的边际成本，这就好比是当我购买更多炸土豆条时，将会降低我购买更多玉米片的边际效用。因而此时的策略是"策略替代"，且其反应曲线会类似于古诺博弈的情形而向下倾斜。

反应曲线的倾斜方向同时也会影响一个参与人愿意首先采取行动还是最后行动。埃斯特·盖尔-欧（Esther Gal-Or，1985）指出，如果反应曲线向下倾斜（就像策略替代以及古诺博弈），则首先采取行动的参与人将获得优势；而如果反应曲线向上倾斜（就像策略互补以及异质伯特兰博弈），则后采取行动的参与人将获得优势。

在图 3—5 中我们看到，在古诺博弈中，如果参与人Ⅰ首先采取行动，则其结果将与斯塔尔伯格博弈相同，该情形我们已通过图 3—3 进行了分析。在图 3—5（a)中，均衡点从 E 移动到 E^*，参与人Ⅰ的支付增加，参与人Ⅱ的支付减少。同时需要注意，斯塔尔伯格博弈中总的行业支付要比古诺博弈的少，也就是说，不但其中的一个参与人遭受了损失，而且他的损失要比另外的参与人的所得要多。

异质伯特兰博弈中参与人Ⅰ首先采取行动的情形我们还没有分析到，但由于价格是策略互补的，连续性的影响令其与古诺博弈相去甚远（实际上，与连续的非异质伯特兰博弈也相去甚远，详见本章章末注）。单纯从图形上我们并不能找到参与人Ⅰ的最优策略，但图3—5说明了一种可能性。由于预测到参与人Ⅱ将会选择低于 p^* 的价格，所以参与人Ⅰ将选择 p^*，这一价格比同时行动博弈情形所选择的价格要高，而同时，p^* 也要高于同时行动情形在 E 点的伯特兰价格。其结果是参与人Ⅱ的支付要高于参与人Ⅰ，这就是后发优势。但同时要注意，相比于 E 点，两个参与人在 E^* 点的境况都会更好，所以，两个参与人都乐于将博弈转换成连续的。 95

对这两个连续博弈，我们均可以在其上添加更多的行动，以确定哪一个参与人将首先选择他的价格或者产量，这样博弈将变得更加复杂，但我把这项工作留给读者来做。现在的要点是，对于参与人来讲，一个博弈是否有策略互补或策略替代是非常重要的。

这个要点非常简单，也非常重要，以至我在我的MBA博弈论教程中用一整节课程来阐述策略互补与策略替代。在MBA的实用博弈论中，学生需要认识到，最重要的是要学会如何描述参与人的条件、行动、信息以及支付。在通常情况下，我们无法得到充足的数据来应用确切的函数形式，但我们可以应用混合的数量信息和质量信息来确定行动与支付之间的关系是策略替代的还是策略互补的。举例来说，商人可以确切地了解到他是应该首先行动还是后行动，以及应该对他的行动保密还是应该昭示天下。

为了理解策略互补及策略替代这一想法的益处，想一想针对如下条件，你将如何构建模型（注意，对每一种情况，正确的答案都不是唯一的）：

1. 两家公司选择它们在研发上的预算。预算是策略互补的还是策略替代的?

2. 史密斯和琼斯竞选美国总统。每个人都必须选择在加利福尼亚的广告方面投放多少资金。广告预算是策略互补的还是策略替代的?

3. 七家公司都面对两个选择：是将它们的产品制造得更加特别，还是让产品更适合普通消费者。产品特别的程度是策略互补的还是策略替代的?

4. 印度和巴基斯坦面临增加军队规模还是缩小军队规模的选择。军队规模是策略互补的还是策略替代的?

经济学家对于互补和替代的构想可以如何强有力地应用到经济行为的深层结构上的兴趣越来越浓厚。从数学的角度研究的超模性（supermodularity）是完全关于互补性的，我们将在第14章进行讨论。关于这方面详细的调查报告，请参见Vives（2005）。

*3.7 均衡的存在性

关于纳什均衡的一个重要方面在于，纳什均衡在每个现实的博弈中都存
96 在而且有极大的可能性会发生。通常情况下，可能有如下四点原因导致均衡不存在或仅存在于混合策略中：

（1）无界的策略空间。

假定在股票市场博弈中，史密斯可以借到任意多的资金用于购买股票 x，所以他的策略集就是他可以购买的股票数量 $[0, \infty)$，这是一个没有上界的集合。（同时，请注意，我们假定他购买的股数可以是分数，例如 $x=13.4$，但他不可以卖空，例如 $x=-100$。）

如果史密斯知道今天的价格比明天低，他的支付函数就是 $\pi(x)=x$，他将愿意购买无穷数量的股票，但这不是均衡交易。但是如果他可以购买的股票数量约束至小于等于 1 000，则他的策略集就有了约束，于是均衡就出现在 $x=1\ 000$。

有时，正如本章早些时候讨论的古诺博弈的情形，策略集的无界性并不会起作用，因为最优解是内点。但在其他的博弈中，策略空间的无界性是非常重要的，这并不仅仅是为了找到一个确定的解，而是因为现实世界的确是一个有界的空间。太阳系的规模是有限的，人类过去以及未来的时间也是有限的。

（2）开的策略空间。

继续考虑史密斯。让他的策略是 $x\in[0, 1\ 000)$，即 $0\leqslant x<1\ 000$，支付函数是 $\pi(x)=x$。史密斯的策略集是有限的（即被 0 和 1 000 限制），但这个集合是开的而不是闭的，因为他可以选择任意一个小于 1 000 而不是 1 000 的数字。这意味着均衡不会出现，因为他会愿意购买 999.999…股的股票。这只是个技术问题；我们本应明确规定史密斯的策略空间是 $[0, 1\ 000]$，这时，均衡出现在 $x=1\ 000$。

（3）离散的策略空间（更一般地，非凸的策略空间）。

假定我们以两名参与人的任意策略对 s_1 和 s_2 开始。如果参与人的策略是互补的，那么，当参与人 1 对于 s_2 的反应是采取增加的策略时，参与人 2 对此的反应也将是增加的策略。当参与人遇到产出减少或成本增加，或者当他们接触到自己策略集的上界时，就是均衡状态。另一方面，如果策略是替代的，当参与人 1 对于 s_2 的反应是采取增加的策略时，参与人 2 对此的反应将是采取减少的策略。如果策略空间是连续的，将会存在一个均衡状态；但如果策略空间是离散的，那么参与人 2 需要从一个离散水平调整到另

一个离散水平，而不可能对自己的策略进行微调。这将导致参与人 1 将它的策略增加一个离散的量。这种跳跃式的反应将永无止境，也就是说，不存在均衡状态。

这就是本章表 3—1 的福利博弈中所出现的情况。在提供一点救助和不救助之间没有妥协的情形，在工作与不工作之间也没有妥协的情形，直到我们引入混合策略。引入混合策略使得每个参与人都可以在一个连续策略空间上选择他的策略。

这个问题并不局限在诸如 2×2 博弈这样拥有离散策略空间的博弈中。更进一步，这是策略空间的“间断”问题。假定存在一个博弈，在其中政府的救助数量并不局限在 0～100 之间，但却可以在任意数量空间{[0，10]，[90，100]}中进行选择。这是一个连续的、闭的而且有界的策略空间，但却非凸，因为里面存在间断。(凸空间的定义：给定空间 $\{x\}$ 是凸的，如果 x_1，$x_2 \in \{x\}$，则对任意 $\theta \in [0, 1]$，有 $\theta x_1 + (1-\theta) x_2 \in \{x\}$。) 如果不应用混合策略的话，则这个博弈就可能不存在均衡。

(4) 由非凹的或不连续的支付函数引起的不连续的反应函数。 97

即使策略空间是闭的、有界的而且是凸的，仍然存在一个问题。为了存在纳什均衡，要求参与人的反应函数要相交。如果反应函数是离散的，则它们将有可能不会相交。

图 3—6 对此进行了说明，这里考虑的是一个有两名参与人的博弈，每名参与人从区间 [0，1] 中选择策略。参与人 1 的反应函数是 $s_1(s_2)$，即对任意可能值 s_2，参与人 1 的反应是采取策略 s_1 的数值，所以 $s_1(s_2)$ 的图像必定是从下端连续到上端的。参与人 2 的反应函数是 $s_2(s_1)$，即对任意可能值 s_1，参与人 1 的反应是采取策略 s_2 的数值，所以 $s_2(s_1)$ 的图像必定是从左端横贯到右端的。如果策略空间是无界的或是开的，则反应函数可能会不存在，但那并不是这里的问题：在这里存在反应函数。而且图 3—6 (a) 中的纳什均衡出现在 E 点，在这一点，反应函数相交。

但在图 3—6 (b) 中没有纳什均衡。问题就在于，参与人 2 的反应函数 $s_2(s_1)$在 $s_1=0.5$ 这一点是不连续的，它从 $s_2(0.5)=0.6$ 跳跃到 $s_2(0.500\ 01)=0.4$。结果就是反应曲线不相交，于是不存在均衡状态。

如果两名参与人可以应用混合策略，则即使是在图 3—6 (b) 的博弈中，也同样会存在一个均衡，这一点我不在这里加以证明。但我很愿意在这里说明为什么反应曲线可能是不连续的。回忆一下，一个参与人的反应函数是这样得到的：给定其他参与人的策略，这个参与人将保证他所选择的策略可以实现自己支付的最优化，而这种选择所得到的结果正是他的反应函数。

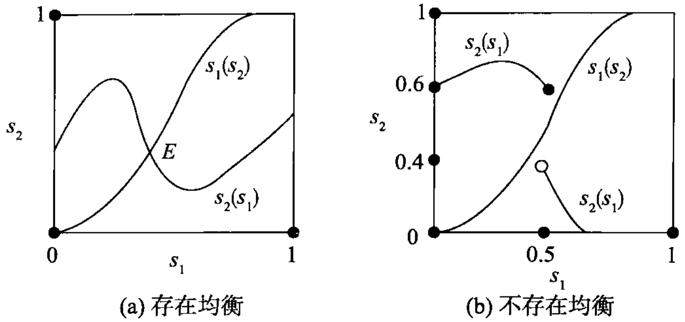


图 3—6　连续的反应函数和不连续的反应函数

所以，在给定另一个参与人策略的前提下，参与人 1 的反应函数之所以会不连续，第一个原因是，在他自己的策略或者在另一个参与人的策略中，他的支付函数是不连续的。第 14 章中所描述的酒店价格博弈正是这种情形，在这个博弈中，只要参与人 1 的价格下降得足够多，或者参与人 2 的价格上升得足够多，那么参与人 2 的所有顾客将会一下子全部奔向参与人 1。

在给定另一个参与人的策略的前提下，参与人 1 的反应函数之所以会不连续，另一个原因是，他的支付函数是非凹的。直觉告诉我们，如果目标函数是非凹的，则可能会存在一些极值点，它们是局部最大值而不是全局最大值，而且当参数改变后，全局最大值点也可能会突然改变。这就意味着，反应函数会从一个最大值点跳跃到另一个距离很远的最大值点，而不是像在更出色的情形中那样会平滑地改变。

98 问题（1）和（2）实际上是决策论中的问题，而不是博弈论中的问题，因为无界性和开性会导致即使仅有一个参与人的最大化问题的解都不存在。问题（3）和（4）在博弈论中很特殊。它们之所以会发生，是因为即使每个参与人针对其他参与人都有最佳反应，也不存在一个最优选择的组合，使得每个人的选择都是针对其他所有人选择的最佳反应。这些问题与决策论中内点解（interior solution）的不存在性类似，但如果仅有一个参与人的话，我们至少还可以找到一个拐点解。

在这一章中，我介绍了很多看起来不同的概念：混合策略、审计、连续策略空间、反应曲线、互补和替代、均衡的存在性，等等。是什么将它们联系在一起的呢？统一的主题是，要通过对行动的极小改变来找出均衡的可能性，而不论这些改变是存在于混合策略中、审计博弈中，还是在连续改变价格水平或生产数量的博弈中。由于使用了连续策略，我们就不再需要应用 $n\times n$ 的表格来预测博弈行为，而且在给定一些技术上的假设后，我们将会得到均衡。

注

N3.1 混合策略：福利博弈

- Waldegrave（1713）是一篇关于混合策略的历史悠久的文献。
- 混合博弈持续出现在娱乐博弈中。例如，费希尔和瑞安（Fisher & Ryan，1992）证明，在石头—剪子—布博弈中，存在唯一的混合策略均衡。在其他地方也有类似的情形，例如，西纳维罗和莱夫利（Sinevero & Lively，1996）证明，研究三种类型雄性蜥蜴的博弈也可以得到相同的结论。研究参与人所采取的策略与理论上的最优策略之间的差异是一件非常有意义的事情。恰波里、莱维特和格罗斯克洛斯（Chiappori，Levitt and Groseclose，2002）得出结论，在足球比赛中，参与人选择向左踢还是向右踢是遵循最优混合策略的，但参与人选择踢出方向的能力是相同的。
- 《理性与社会》杂志（*Rationality and Society*）的 1992 年 1 月号专门讨论了将博弈论应用于社会科学领域的利弊，其中有相当的篇幅是关于混合策略和多重均衡的。撰稿人包括海萨尼、迈尔森、拉波波特、图洛克和威尔德夫斯基。在 1989 年春季号的《兰德经济学杂志》（*RAND Journal of Economics*）上，弗兰克·林·费希尔和卡尔·夏皮罗（Frank Lin Fisher and Carl Shapiro）针对博弈论的应用展开了交锋。对于反对将博弈论应用于产业组织研究的意见，可参见 Peltzman（1991），其反映了“芝加哥学派”的精髓。
- 在本书中，我们将始终假定参与人记得他们过去的行动。若没有这一**完美回忆**（perfect recall）的假定，则在本书中关于混合策略的定义就变成对**行为策略**（behavior strategy）的定义了。过去曾经把参与人在起始结处在纯策略之间随机选择的情况说成是他在执行混合策略，但他随后就执行纯策略了。根据这一定义，建模者在除起始结之外的任何结上都无法谈及随机选择的问题。库恩（Kuhn，1953）表明，如果博弈具有完美回忆，本书中对混合策略的定义就等价于原始的定义。因为所有重要的博弈都是具有完美回忆的且对混合策略的新定义与现代序贯理性的精神更加契合，所以我在此便放弃了老定义。

  无完美回忆的博弈的经典例子就是**桥牌**（bridge）。实际博弈的四个参与人可以被巧妙地变为两方参与人，每一方在博弈的任何时候都忘了自己手中的一半牌是什么。更为有用的一个例子是，将参与人限

定在只允许马尔可夫策略（见 5.4 节）的简化博弈中。但建模者通常
99 按完美回忆来建立模型，接着在证明了马尔可夫策略构成整个博弈的均衡之后排除非马尔可夫均衡。

- 有人也许会认为，当存在两个纯策略均衡的时候，即使当一个参与人在使用某种纯策略，另一参与人也会乐于把自己的两种纯策略加以混合。这种看法并不正确。例如，在性别战中，如果男方知道女方一定会去看芭蕾，那么他在看芭蕾和看拳击间绝不是无差异的。
- 假定参与人的空间是连续的有许多好处，这不仅因为建模者无须担心参与人的比例问题，而且因为建模者可以使用更多的微积分工具来辅助建模。例如，可以对不同消费者的需求量求积分而不是简单求和。但使用连续空间也使数学处理更为复杂。参见 Aumann（1964a，1964b）。
- 计量经济学中对博弈论模型的评估问题进行了广泛的研究。假定我们想要评估 2×2 博弈中的支付数，在其中我们所观察的是由两个参与人基于不同的背景变量所采取的行动。例如，行动可以是进入或者不进入，而背景变量则是参与人所面对的诸如市场规模或成本等因素。自然，我们还需要满足多重重复的条件，以便生成足够的数据，进而应用计量经济学的知识。这里面存在一个识别的问题，因为在 2×2 支付矩阵中存在 8 个支付，但只存在 4 种可能的行动；而且如果应用混合策略，则 4 种可能的混合将相加为一个数，所以实际上只有 3 个独立的产出。那么我们如何通过 3 个可能的产出来评估 8 个参数呢？为了便于识别，必须要求某些环境变量仅仅影响其中的一个参与人，对这一点，鲍亚里、洪和瑞安（Bajari，Hong & Ryan，2004）作了注解。另外的一个问题是可能会发生多重均衡的现象，所以我们需要更多的关于识别信息的假设，以便了解我们所观察到的是哪一个均衡。关于这方面的基础性论证的论文，参见 Bresnahan & Reiss（1990，1991a），而且这是一个非常活跃的研究领域。

N3.2 支付均等化方法与时间安排博弈

- 本书中所讨论的斗鸡博弈比电影《无理反叛》(*Rebel without a Cause*) 中的那个博弈要简单。在电影里，演员驾车向悬崖疾驰，谁后跳出车谁就是胜利者。在电影里的那个博弈中，纯策略空间是连续的，而支付在悬崖边缘是不连续的，这也使得这一博弈从技术上来说更难分析（可参见 4.1 节，回忆一下“颤抖”在这样的电影中的重要作用）。

- 在一些具有行动的连续空间和混合策略的模型中，经常会出现技术上的困难。在福利博弈中，政府在 0～1 之间的连续空间上选择一个数，即一个概率。如果我们允许政府在救济水平的连续空间上进行混合，那么它就会在连续空间上选择一个函数，即一个概率分布。原博弈在其策略集上只有有限个元素，因此它的混合扩展依然在 $\mathbf{R}^n$ 中有一个策略空间。但是对于由每一纯策略组成的混合策略的连续区间所扩展成的连续策略集来说，所涉及的数学将甚为困难。

  涉及连续时间的博弈就常常碰到这一问题。有时可以通过巧妙的建模来避开这一问题，正如弗登伯格和梯若尔（Fudenberg & Tirole, 1986b）对不对称信息下的连续时间消耗战的讨论一样。他们把策略规定为两个公司在给定对另一家公司的类型的信念之后选择坚持的时间长短，在这种情况下存在纯策略均衡。
- **微分博弈**（differential game）出现在连续时间情形中。行动是一个函数，用来描述变量在每一点的状态的值，因而，策略是一个映射，它将博弈的历史过程映射到这个函数上。应用动态最优化可以解决微分博弈。巴格奇（Bagchi, 1984）详细描述了此种情形。
- 弗登伯格和莱文（Fudenberg & Levine, 1986）描述了这样的情形：策 *100*
略空间为无限的博弈，其均衡可以通过取有限策略空间博弈均衡的极限得到。
- 克劳福德和索贝尔（Gawford and Sobel, 1982）定义了廉价交谈，该定义包含了我将在第 6 章定义的“昂贵交谈”。在他们的定义中，只要该信息的成本与内容不相关，那么它就是廉价交谈，即使发出信息的成本非常高昂。只有在对说谎没有惩罚的情形中，这一交谈才称得上廉价。另一种可能性是，信息拥有负的成本；发出信息的人从发送信息中得到直接的好处。我们可以称之为**“娱乐交谈”**（fun talk）。信息昂贵与否至关重要，因为它将会影响参与人是否愿意在预期会被怀疑的情况下发出信息。

N3.4 随机化并不总是混合的：审计博弈

- 与审计博弈 I 类似的另一个博弈叫作警察博弈（Police Game）。当博弈很明显是一个序贯博弈的时候，是不能使用同时行动博弈的，这一点必须小心。离散的策略空间也会引发问题。一般而言，经济分析都假定随着活动数量的增加，成本的上升是凸的而收益的上升是凹的。对 2×2 博弈的情况进行模型化只使用了两种离散的活动水平，因此简化后

就无所谓凹凸性了。如果实际函数是线性的，就好像审计成本随着审计概率的上升而线性上升一样，则问题还不大。但若实际成本的上升是凸的，就好像警察每天必须呆在街上的时间变长一样，则此时 2×2 模型可能是有问题的。尤其要小心的是，当允许中间策略的时候，若存在纯策略均衡，则不要过分迷恋于混合策略均衡的想法。参见特塞贝利斯（Tsebelis，1989）以及杰克·赫什莱弗和拉斯穆森（Jack Hirshleifer & Rasmusen，1992）对它的批评。

- 道格拉斯·戴蒙德（Douglas Diamond，1984）说明了监督成本对于金融市场结构的意义。监督投资的固定成本推动了金融中介的产生，以此来避免许多投资者的重复监督。
- 巴伦和贝赛克（Baron & Besanko，1984）研究了这样一种情形下的审计——政府部门只要肯花工夫，就可以收集到关于被管制企业的真实生产成本的信息。
- 蒙克哈吉和潘格（Monkherjee & Png，1989）、博德和索贝尔（Border & Sobel，1987）都考察了在税收领域随机审计的问题。他们发现，如果纳税人受到了审计而事实又证明他是如实纳税的，那么他应为受到打搅而得到赔偿。在最优合同之下，如实纳税的纳税人将乐于接受审计。其原因在于，当事人在说实话和撒谎之间的支付的差额由于这一对如实纳税的奖励而变大了。

  为什么这种方案没有被采用呢？它当然很实用，而且有人可能会认为它对选民非常有用。其中的一个原因在于可能会出现腐败：如果被审计会带来划算的报酬，政府就会有意选择对它的朋友们进行审计。由于政府可以审计它的敌人，所以就算他们合理地纳了税，也还是会被政府的审计所烦扰，这一切导致当前的威胁看上去更加恶劣。
- 政府的行动会强烈地影响信息的可得性与合法性。例如，在 1988 年，美国通过了一项法律来严格限制将测谎仪用于测试与监控。在这项法律通过前，每年接受测试的工人有 200 万之多。（"Law Limiting Use of Lie Detectors Is Seen Having Widespread Effect,", *Wall Street Journal*, July 1, 1988, "American Polygraph Association", http://www.polygraph.org/betasite/menu8.html, Eric Rasmusen "Bans On Lie Detector Tests," http://www.rasmusen.org/x/2006/07/26/bans-on-lie-detector_tests/。）
- 3.4 节指出了在审计和混合策略中随机行动是如何出现的。随机性的另外一个应用是降低交易成本。例如，在 1983 年，克莱斯勒公司正在为了购买大众在底特律的工厂需要花多少钱而讨价还价。谈判双方将他

们共同锁在旅馆的房间里，并一致同意只有达成协议才可以离开。当他们将价格差异从1亿美元降低到500万美元时，他们同意通过投掷硬币来确定。最后克莱斯勒公司赢了。该如何为这种情况建模呢？（"Chrysler Hits Brakes，Starts Saving Money after Shopping Spree，" 101
Wall Street Journal，p. 1，January 12，1988.）同样可以参考戴维·弗里德曼（David Friedman）在第15章中关于法律规则的精明的想法，他应用一个以10%的概率判死刑的情形代替了6年刑期的情形（http://www.daviddfriedman.com/laws_order/index.shtml）。

N3.5 连续策略：古诺博弈

- 一类有趣的简单连续支付博弈就是**布洛特上校博弈**（Colonel Blotto games）（Tukey，1949；McDonald & Tukey，1949）。在这些博弈中，两位指挥官分别把自己的部队部署到 m 个不同的战场上去。在哪个战场上部署的兵力越多，则该战场对指挥官的效用的贡献就越大。该博弈的一个突出特点是，参与人 i 的支付是随着参与人 i 的特定行动相对于参与人 j 的特定行动的价值的变化而变化的，而且参与人要受预算约束的限制。除去预算约束之外，这一博弈与8.2节中的竞赛博弈颇为类似。
- 在博弈论以及经济学中，"稳定性"这个词被使用的方式是多种多样的。一个稳定均衡的自然含义是说，它所具有的动态性质可使系统在受到轻微扰动之后返回原来的点。对于古诺均衡的稳定性的讨论也是从这个意义上来说的。而冯·诺伊曼和摩根斯顿（von Neumann & Morgenstern，1944）、科尔伯格和默滕斯（Kohlberg & Mertens，1986）对这一术语的使用是完全不同的。
- 在文献中对于"斯塔尔伯格均衡"并没有清楚的定义。这一术语有时被用于表示参与人按给定顺序行动的均衡，但是由于这只是一个有良好定义的扩展式的完美均衡（见4.1节），我更愿意将这一术语用于指在双头垄断数量博弈中一个参与人首先行动所形成的纳什均衡，这也是Stackelberg（1934）第3章所说的情况。

  斯塔尔伯格均衡的另一种定义是这样的：它是一个策略组合，而在该策略组合中，参与人是按照给定顺序来选择策略的，每个参与人的策略都是对于在他之前行动的参与人的给定策略的最佳反应，也是对于在他之后行动的参与人尚未作出的策略的最佳反应。也就是说，参与人按照给定的顺序承诺选择某种策略。这样一种均衡一般而言既

不是纳什均衡，也不是完美均衡。

- 斯塔尔伯格（Stackelberg，1934）曾暗示说有时参与人会弄不清到底谁是领头羊而谁是跟随者，从而造成一种被称为**斯塔尔伯格战争**（Stackelberg warfare）的非均衡结果。
- 若成本和需求都是线性的，则在斯塔尔伯格均衡中的总产量要比在古诺均衡中高。反应曲线的斜率小于 1，因此 Apex 公司的产量扩张要大于 Brydox 公司的产量缩减。与古诺均衡相比，斯塔尔伯格均衡的总产量上升而价格下降。
- 斯塔尔伯格均衡的一个有益的应用是，在拥有一个主导企业的产业，其他的小企业都处于**竞争边缘**（competitive fringe），它们只能在价格超出边际成本时才可以销售。因为每个小企业都足够小，以至于它们对主导企业行为的影响可以忽略不计，所以这些小企业都是斯塔尔伯格领头羊（而不是跟随者）。石油市场就可以通过这种方式建模：石油输出国组织（OPEC）是主导企业，而像英国石油公司这样的生产者则处于竞争边缘。

N3.6　连续策略：伯特兰博弈、策略互补和策略替代

- 正文分析了同时采取行动的非异质伯特兰博弈，但没有分析序贯行动的情形。$p_a=p_c=c$ 仍然是均衡产出，但不再是唯一的。假定 Apex 首先采取行动，接着是 Brydox，而且为了技术上简单起见，假定如果 $p_a=p_b$，Brydox 将占领整个市场。Apex 无法得到大于 0 的支付，因为要么 $p_a=c$ 成立，要么 Brydox 会选择 $p_b=p_a$ 并占领整个市场。所以，当 $p_a\geqslant c$ 时，对于 Apex 来说，每种情况都是无差别的。

102 博弈需要建立在这个严格的规则之上，其原因在于，如果当 $p_a=p_b$ 时，Apex 和 Brydox 之间的市场是割裂的，则 Brydox 对于 $p_a>c$ 的最佳反应将是选择不大于 p_a 的最大的值作为 p_b，但在连续空间中，这个数值是不存在的，所以无法定义 Brydox 的最佳反应。当价格相同时，给出 Brydox 的所有需求就可以避免这个问题。

- （3.39）式和（3.40）式的需求曲线可以扩展到二次函数。迪克西特（Dixit，1979）指出，考虑三种商品 0，1，2，效用函数

$$U=q_0+\alpha_1 q_1+\alpha_2 q_2-\frac{1}{2}(\beta_1 q_1^2+2\gamma q_1 q_2+\beta_2 q_2^2) \tag{3.46}$$

（其中 α_1，α_2，β_1，β_2 是常数，而且 $\gamma^2\leqslant\beta_1\beta_2$）导出反需求函数

$$p_1=\alpha_1-\beta_1 q_1-\gamma q_2 \tag{3.47}$$

和

$$p_2=\alpha_2-\beta_2 q_2-\gamma q_1 \tag{3.48}$$

- 从（3.39）式和（3.40）式的需求函数还可以推导出古诺均衡，但产品异质对它的影响并不大。仅用数量来表述需求曲线上的价格，得到

$$p_a=12-\left(\frac{1}{2}\right)q_a+\left(\frac{1}{2}\right)p_b \tag{3.49}$$

和

$$p_b=12-\left(\frac{1}{2}\right)q_b+\left(\frac{1}{2}\right)p_a \tag{3.50}$$

将（3.50）式代入（3.49）式，得到 p_a 的表达式

$$p_a=24-\left(\frac{2}{3}\right)q_a-\left(\frac{1}{3}\right)q_b \tag{3.51}$$

对于 Apex 最大化问题，它的一阶条件是

$$\frac{d\pi_a}{dq_a}=24-3-\left(\frac{4}{3}\right)q_a-\left(\frac{1}{3}\right)q_b=0 \tag{3.52}$$

由此得到反应函数

$$q_a=15.75-\left(\frac{1}{4}\right)q_b \tag{3.53}$$

可以猜到 $q_a=q_b$，于是由（3.53）式得到 $q_a=12.6$，市场价格为 11.4。你可以验证这确实是一个纳什均衡。但与将非异质伯特兰竞争变为异质伯特兰竞争的情形不同，反应函数（3.53）的形状与不存在产品异质情形的图像形状完全一致。

- 如果读者想了解更多关于策略互补和策略替代的技术处理，可以参见 Bulow，Geanakoplos & Klemperer（1985）以及 Milgrom & Roberts（1990）。如果策略是互补的，米尔格罗姆和罗伯茨（Milgrom & Roberts，1990）及维韦斯（Vives，1990）证明存在纯策略均衡。这个模型很好地解释了一些罕见的经济现象，诸如彼得・戴蒙德（Peter Diamond，1982）对商业周期的研究以及道格拉斯・戴蒙德和迪布维格（Douglas Diamond & Dybvig，1983）对银行运行的研究。如果策略是替代的，纯策略均衡的存在性就很棘手了，关于这方面的讨论，可以参见 Dubey，Haimanko & Zapechelnyuk（2005）。

习 题

3.1 总统提名（中等难度）

103 史密斯和琼斯正在为赢得民主党内美国总统候选人的提名展开角逐。他们用于竞选的时间越长，则他们的花销也就越大，因为为了不被淘汰出局，他们必须每月花费 100 万美元。如果他们某一人出局，那么另一个人就会自然获得提名，这项提名价值 1 100 万美元。每月的贴现率为 r。为了使问题简化，可以假定若无人退出，则这一争夺将永远持续下去。在混合策略均衡中，用 θ 来表示某一参与人在每个月退出的概率。

（a）在混合策略均衡中，史密斯在每个月中退出的概率 θ 是多少？若 r 由 0.1 变为 0.15，则会发生什么？

（b）两个纯策略均衡是什么？

（c）如果博弈仅持续一期，且若两个民主党候选人都拒绝退出，则共和党人会赢得大选（对民主党候选人的支付为零），那么在对称均衡时每个参与人退出的概率 γ 为多少？

3.2 从盖世太保手中逃脱（中等难度）

现在是在纳粹德国，施密特和布劳恩这两个风险中性的人正走在大街上，突然一个盖世太保走过来要检查他们的证件。只有布劳恩带了证件（盖世太保自然不知道这一情况）。如果两人都跑或者都不跑的话，则盖世太保会把两人都抓起来。但如果只有一个人跑了，那么盖世太保必须选择抓住哪一个——是逃跑的还是没跑的。对不带证件的处罚是监禁 24 个月；对逃避国家机构（盖世太保）的惩罚是在其他指控的刑期上再加 24 个月监禁，但这一指控的判罪率只有 25%。给定这一对朋友力图最大化其联合效用，而盖世太保则想将其最小化。布劳恩首先行动，然后是施密特，最后是那个盖世太保。

（a）在均衡时观察到的结果矩阵是什么？（用 θ 表示盖世太保去抓那个逃跑的人的概率，用 γ 表示布劳恩逃跑的概率。）

（b）盖世太保去抓那个逃跑的人的概率为多少（称它为 θ^*）？

（c）布劳恩逃跑的概率为多少（称它为 γ^*）？

（d）由于施密特和布劳恩的目标是相同的，那么本博弈是一个合作博弈吗？

3.3 在“凑硬币”中的唯一性（容易）

在博弈中，史密斯和琼斯各自选择是将手中的硬币面朝上还是底朝上。如果他们的选择相同，则史密斯拿走两枚硬币；反之，则琼斯获得两枚硬币。

(a) 画出结果矩阵。

(b) 证明不存在纯策略纳什均衡。

(c) 找出混合策略均衡，令史密斯出面朝上的概率为 γ，而琼斯出面朝上的概率为 θ。

(d) 证明只有一个混合策略均衡。

3.4 在性别战中的混合策略（中等难度）

让我们回到性别战与分级协调博弈中，将男女二人选择拳击的概率分别设为 γ 和 θ。

(a) 找出男子期望支付的表达式。

(b) γ 和 θ 的均衡值是多少？期望支付是多少？

(c) 找出最可能的结果及其概率。 104

(d) 在分级协调的混合策略均衡中，均衡支付是多少？

(e) 为什么混合策略均衡在性别战中与在分级协调中相比是一个更好的聚点？

3.5 投票悖论（中等难度）

亚当、查尔斯和弗拉基米尔是一个小村庄里仅有的三个选民。只有亚当拥有财产。正在投票表决的议案是，对财产拥有者征 120 美元的税而将所得平均分配给所有没有财产的公民。每个公民都不喜欢走到投票点去投票（尽管路途并不远），甚至愿意付 20 美元来避免投票。他们必须决定是否要在工作前去投票。如果投票结果是只有少数人支持，则议案被否决。假定在均衡时亚当投票的概率为 θ，而查尔斯和弗拉基米尔为 γ，但他们是在彼此独立的条件下决定是否投票的。

(a) 议案通过的概率是多少？用 θ 和 γ 的函数表示。

(b) 查尔斯会去投票的两个可能的均衡概率 γ_1 和 γ_2 是多少？从直觉上讲，为何会有两个对称的均衡？

(c) 在这两个对称的均衡中，亚当投票的概率 θ 是多少？

(d) 议案通过的概率是多少？

3.6 寻租（难）

我曾经提及罗杰森在 1982 年使用了一个与新市场中的专利权争夺类似的

博弈来分析拥有垄断特权的政府的竞争。试试看你是否也可以做得到。在这种竞争中，你可以预测到怎样的福利结果?

3.7 纳什均衡（容易）

找出表 3—9 中的纳什均衡。

表 3—9 **无意义的博弈**

		列		
		左	中	右
	上	1，0	10，−1	0，1
行	中	−1，0	−2，−2	−12，4
	下	0，2	823，−1	2，0

支付：(行，列)。

3.8 三个集团垄断（容易）

三家公司向澳大利亚市场供应轮胎。当公司生产轮胎的个数为 Q 时，其总成本曲线为 $TC=5+20Q$，需求方程为 $P=100-N$，其中 N 是轮胎市场的总需求。

应用古诺模型讨论，当公司同时选择生产数量时，总产量是多少?

3.9 具有非均匀成本的古诺博弈（难）

在一次学术访问中，密歇根大学的谢弗（Schaffer）教授告诉我，在拥有线性需求曲线 $P=\alpha-\beta Q$ 以及边际成本 C_i 为常量的古诺模型中，均衡工业产
105 出 Q 依赖于 $\sum_i C_i$，而不依赖于某一个单一的 C_i。我可能记错了。证明这个断言正确与否。如果增加一些对需求的假定，结论是否会改变? 请讨论。

3.10 阿尔巴和罗马：不对称信息和混合策略（中等难度）

罗马人霍拉提斯正在和从阿尔巴来的库雷拉斯三兄弟展开一场生死搏斗。霍拉提斯尚未受伤，而库雷拉斯三兄弟都有伤在身。如果霍拉提斯继续打下去，他赢的概率为 0.1。若他赢了，则对（霍拉提斯，库雷拉斯三兄弟）的支付为（10，−10），而若他输了，则支付为（−10，10）。霍拉提斯惊慌失措、落荒而逃的概率为 $\alpha=0.5$。如果他逃跑了但库雷拉斯三兄弟并未追击，则支付为（−20，10）。如果库雷拉斯三兄弟追击并且杀了他，则支付为（−21，20）。然而，如果霍拉提斯逃跑时并未惊慌失措而只是诈败，同时库雷拉斯三兄弟又贸然追击，那么霍拉提斯可以先杀掉追得最近

的那一个，再将剩下两个各个击破，此时支付为（10，－10）。事实上，霍拉提斯逃跑时并未惊慌失措。

（a）若霍拉提斯逃跑，则库雷拉斯三兄弟追击的概率 θ 为多少？

（b）霍拉提斯逃跑的概率 γ 为多少？

（c）若库雷拉斯三兄弟错误地认定霍拉提斯已惊慌失措的概率为 1，则 θ 和 γ 将如何变化？如果他们相信这一概率为 0.9 呢？

3.11 找出纳什均衡（容易）

找出表 3—10 中所有的纳什均衡。

表 3—10 **接管博弈**

		目标		
		困难	中等	容易
突袭者	困难	－3，－3	－1，0	4，0
	中等	0，0	2，2	3，1
	容易	0，0	2，4	3，3

支付：（突袭者，目标）。

3.12 危险的滑冰（难）

艾雷纳和玛丽是两名世界著名的滑冰运动员。她们每个人在训练过程中都要对采用的动作进行选择。训练完成之后她们就不能再改变主意，也不能对动作的任何细节作改变。艾雷纳在奥运会上首先出场，玛丽紧随其后。每个人有五分钟的表演时间。裁判从三个方面进行打分：优美度、弹跳高度以及在弹跳之后是否摔倒。摔倒的选手一定会输掉比赛，如果艾雷纳和玛丽都摔倒了，则另外 10 名被淘汰的选手之中的一名将赢得比赛，否则另外的 10 名选手都将没有机会上场。

艾雷纳和玛丽在优美度和动作上水平相当，而且她们两人知道这一情况，但她们的弹跳能力并不相同。跳的更高而没有摔倒的一个一定会赢得比赛。艾雷纳摔倒的概率是 $P(h)$，其中 h 是弹跳的高度，P 关于 h 光滑连续增加（用微积分的语言描述，要求 P' 和 P'' 都存在，而且 P' 为正数）。玛丽摔倒的概率是 $0.9P(h)$，也就是说，比标准高度低 10%。

将 $h=0$ 定义为其他选手可以达到的最大高度，并假定 $P(0)=0$。 106

（a）记艾雷纳选择的高度为 E，玛丽选择的高度为 M，证明，在 $E=M$ 的情形中不可能达到均衡；

（b）证明，对任意数组（M，E），都不可能达到均衡；

（c）尽力描绘最优策略；

（d）有哪些经济现象与本例相似？找出一些可以应用这个模型的经济现象。

3.13 科索沃战争（容易）

美国在塞尔维亚采取的政策是对其进行密集轰炸并承诺不使用地面部队，新汉普顿的参议员罗伯特·史密斯针对此进行评论时说："这就好比是在说：我们会给你传球，但不会带着球跑。"（*Human Events*，p. 1，April 16，1999。）解释他的意思，并应用混合策略均衡的概念解释为什么这是对美国政策的强烈批评。（在橄榄球运动中，运动员可以选择投掷橄榄球（即传球）或者带着球跑向球门。）建立一个数值例子，在如下方面与美国的期望支付进行对比：（a）混合策略均衡，其中止于不使用地面部队；（b）纯策略均衡，在其中美国承诺不使用地面部队。

3.14 国际货币基金组织救助（容易）

考虑表 3—11 的博弈。

表 3—11 **IMF 救助**

		债务人	
		改良	浪费
IMF	救助	3，2	−1，3
	不救助	−1，1	0，0

支付：（IMF，债务人）。

（a）每个纳什均衡的确切形式是什么？

（b）这个矩阵在哪些情况下是好的模型？

3.15 优惠券竞争（难）

两个市场经理在争论。史密斯说，如果减少优惠券的使用，就会使我们变成进取心不足的竞争者，并进而对我们的销售产生极坏的影响。琼斯认为，虽然减少优惠券的使用会让我们显得进取心不足，但这会对我们的销售有所帮助。

利用公司反应曲线上减少优惠券时的影响进行分析，找出在哪些情况下史密斯是正确的，在哪些情况下琼斯是正确的。

消耗战：第 3 章的课堂博弈

107

每家公司由三名学生组成。在每一年，每家公司必须选择继续留在这个行业中或是离开。如果它留在这个行业，则固定成本是 300，边际成本是 2，且可以选择任意一个整数作为出售价格。公司也可能会损失不限数额的资金。很多大企业可以为这些公司提供不确定数额的资金支持。

起始价格是 10 美元/单位，需求在消费者数量为 60 时是无弹性的，而当数量大于 60 时，需求降为 0。

每家公司在一张纸上写下自己的报价（或者“退出”）并交给教师。教师在黑板上写下每家公司的策略集（报价或是退出）。报价最低的公司将出售给 60 位消费者。如果存在多家公司同时报出最低价格，则这些公司将均分给消费者。

博弈在第二年继续进行，但选择了“退出”的公司将永远退出且不能再重新进入。博弈继续进行，直到仅剩下一家公司，这家公司将成为垄断者，并得到 2 000 美元作为奖励。这意味着，理论上而言，这个博弈可以永远进行下去。但教师可以在某一点使其结束。

在课堂时间允许的前提下，这个博弈可以不断重复进行。

【注释】

[1] “Big Board Will Begin Trading of Options on 4 Stocks IT Lists,” *Wall Street Journal*, p. 15 (October 4, 1985).

[2] 既然我已经通知了学生，那么这还会是一道很好的考试题目吗？当然是。首先，这会让我们找出那些认真阅读了教师安排的学习内容的学生；其次，像这样的问题，即使学生知道它可能会在考试中出现，但解决起来也仍然不是那么容易；第三，最重要的是，即使在均衡状态，每个学生都正确地回答了问题，这个事实也同样证明，对学生学习这部分内容的激励确实起了作用——这是我们最主要的目标，难道不是吗？

第 4 章
对称信息动态博弈

4.1 子博弈完美

108 在这一章中，我们将大量使用扩展式去分析参与人的行动有先后顺序的动态博弈。我们从 4.1 节开始分析“完美”这个对纳什均衡加以优化的概念，这个概念包含了一些对行动顺序的合理假设。4.2 节用一个进入威慑的博弈详细地阐述了“完美”的概念。4.3 节使用要挟诉讼的例子来深化“完美”的概念，在要挟诉讼中，原告希望通过与被告私了从而得到一笔补偿。要挟诉讼说明了可置信威胁的重要性，以及制造沉没成本或某种非货币支付是如何改善参与人的处境的。这个例子也用于讨论连续策略空间博弈中的弱均衡的开集问题，在这种博弈中，提供合同的参与人选择合同的条款，使得另一个参与人在接受与拒绝之间没有差异。最后一个关于完美概念的话题是重新谈判问题：当博弈存在多个完美均衡时，如果子博弈中存在达到帕累托最优的均衡，参与人会采取合作，但是在整个博弈中却不可能。

跟随领头羊 I 的完美均衡

子博弈完美是一个均衡概念，建立在行动的顺序以及均衡路径与均衡的区别上。**均衡路径**（equilibrium path）是指在博弈树上均衡所实现的路径；而均衡本身是指一个策略组合，它包括了当其他参与人偏离均衡路径时参与人的反应。参与人在非均衡信息集上的策略反应对决定均衡路径是至关重要

的。举个例子，威胁是指一个参与人承诺一旦其他参与人的行动偏离了均衡，他将采取的某种行动。威胁是有一定的影响力的，尽管它可能从未被实施过。

最好用一个例子来说明完美的概念。在 2.1 节中，跟随领头羊 I 博弈揭示了纳什均衡的缺陷；在这个博弈中有三个纯策略纳什均衡，而其中只有一个是合理的。参与人是史密斯和琼斯，他们将选择软驱的尺寸。如果他们选择了同样的尺寸，他们得到的支付比较大，如果都选择了大，则将得到最高 109
的支付。因为史密斯先行动，所以他的策略组合是（小，大）。琼斯的策略组合要复杂一些，因为对每个信息集，他都要确定一个行动，并且琼斯的信息取决于史密斯的选择。琼斯的策略组合的典型例子是（大，小），表示在史密斯选择大的情况下，琼斯选择大，而在史密斯选择小时，琼斯选择小。于是我们得到下列三个战略式表述的纳什均衡：

均衡	策略	结果
E_1	{大，（大，大）}	都选大
E_2	{大，（大，小）}	都选大
E_3	{小，（小，小）}	都选小

只有均衡 E_2 是合理的，因为行动的先后顺序会影响参与人的决定。用普通式表述的缺陷，因而也是简单纳什均衡的缺陷正是在于其忽略了谁先行动这一点。如果史密斯先行动，那么看起来应该允许——事实上是要求——琼斯在史密斯行动之后重新考虑自己的策略。

考虑均衡 E_3 中的琼斯的策略（小，小）。如果史密斯偏离均衡而选择了大，那么就没有道理再让琼斯坚持选择小。相反，他也将选择大。但如果史密斯预期到了对方的反应是大，那么他从一开始就会选择大，因而 E_3 不可能是一个均衡。通过相同的论证，我们可以表明琼斯选择（大，大）也是不理性的，这样我们就得到 E_2 这个唯一的均衡。

我们称均衡 E_1 和 E_3 是纳什均衡而非“完美”纳什均衡。一个策略组合要成为完美均衡，就必须在所有可能的路径上达到均衡，不仅包括均衡路径，还要包括所有其他在不同的“子博弈”中的分支路径。因而对于一个参与人而言，他的完美均衡策略不仅可以保证当其他参与人处于均衡路径上时他可以作出最佳反应，而且当其他参与人处于**非均衡**（out of equilibrium）或者**均衡路径之外**（off the equilibrium path）时，他依然可以作出最佳反应。

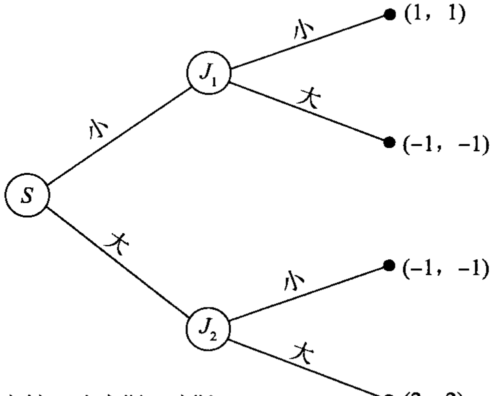
子博弈（subgame）是一个对于所有参与人的信息集来说都是单结的结、这个结的后续结以及在相应的终点结处的支付这三个要素所组成的博弈。[1]

一个策略组合是一个**完美子博弈纳什均衡**（subgame perfect Nash equilibrium），如果（a）它是整个博弈的纳什均衡；（b）它的相关行动规则在每

个子博弈上都是纳什均衡。

用如图 4—1（图 2—1 的重复）的扩展式表述的跟随领头羊 I 有三个子博弈：（1）整个博弈；（2）从结 J_1 开始的子博弈；（3）从结 J_2 开始的子博弈。策略组合 E_1 不是一个完美子博弈均衡，因为它只能在子博弈（1）、（3）上达到纳什均衡，在子博弈（2）上则不行。策略组合 E_3 不是一个完美子博弈均衡，因为它只能在子博弈（1）、（2）上达到纳什均衡，在（3）上就不能了。但是策略组合 E_2 在所有的子博弈上都是纳什均衡。

110



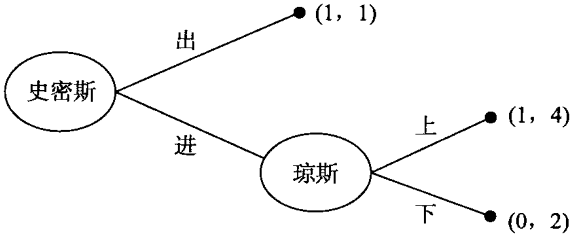
支付：(史密斯，琼斯)。

图 4—1　跟随领头羊 I

序贯理性（sequential rationality）是指这样一种概念：一个参与人在博弈的每一个点上都重新优化自己的选择，并且把自己在将来会重新优化其选择这一点纳入考虑之中。这是忽略沉没成本以及理性预期这两种经济学观点的结合。如今序贯理性已经成为均衡的标准准则，因此，当我说一个在"完美子博弈均衡"或者在非对称信息博弈中的"完美贝叶斯均衡"的意义上满足序贯理性的均衡时，我将不带定语地使用"均衡"这个词。

完美（通常略掉"子博弈"一词）之所以是一个很好的均衡概念，其原因之一是它体现了序贯理性的思想。另一个原因是对于博弈中一些小的变动，弱纳什均衡不够稳定。只要琼斯确定史密斯不会选"大"，他在两个策略（"小"，如果史密斯选"大"）和（"大"，如果史密斯选"大"）之间就是无差异的。由于这个原因，均衡 E_1，E_2，E_3 都是弱纳什均衡。但是，如果存在一个很小的概率使得史密斯选择"大"——或许是因为失误，那么 E_1 和 E_3 就不再是均衡了。完美就是一种剔除这类不稳定的弱均衡的方法。可能发生失误的小概率被称作一个**颤抖**（tremble），6.1 节将会讨论这种将完美的概念扩展到非对称信息中的方法，这种方法被称为**颤抖的手**（trembling hand）。

但是，读者还是应该注意，颤抖方法是不同于序贯理性的。考虑图 4—2 中的**颤抖博弈**（tremble game）。这个博弈有三个纳什均衡，都是弱的：（出，下），（出，上）和（进，上）。只有（出，上）和（进，上）是子博弈均衡，因为虽然“下”是琼斯对于史密斯的“出”的弱最优反应，但是如果史密斯选择“进”，它就不是最优的了。在以琼斯行动为开始的子博弈中，琼斯唯一的子博弈完美均衡是选“上”。但是，颤抖的可能性就排除了（进，上）成为均衡。如果琼斯即使有一个非常小的概率颤抖了一下因而选择了“下”，那么史密斯将会选“出”而不是“进”。同样，琼斯会选择“上”而不是“下”，因为一旦史密斯颤抖从而选了“进”，则对琼斯而言，“上”比“下”好。这样就只剩下（出，上）是均衡，尽管（进，上）弱帕累托优于它。 111



支付：(史密斯，琼斯)。

图 4—2　颤抖博弈：颤抖的手和子博弈完美的对比

4.2　完美的一个例子：进入威慑 I

我们现在来看一个博弈，在这个博弈中完美所起的作用与在跟随领头羊 I 中的作用同样重要，不同的是，在这个博弈中，参与人是相互冲突的。产业组织中的一个老问题是，一个在位的垄断者能否通过威胁引发价格战来阻止新公司进入市场，以维持自己的垄断地位。这种思想遭到了芝加哥学派的猛烈攻击，例如，麦克基（McGee，1958）就认为价格战给在位者带来的损失大于和进入者合谋的损失。博弈论能够清楚地表述这个推理过程。让我们考虑一个一期的尝试进入和价格战，我们还假设即使在位者与进入者合谋，由于市场收入大幅下降，维持寡头垄断也是困难的。

进入威慑 I

参与人

两个公司——进入者和在位者。

博弈顺序

（1）进入者决定进入或不进入。

（2）如果进入者进入，在位者可以合谋，或用大幅降价来斗争。

支付

在垄断价格上，市场利润为 300；在斗争价格上，市场利润为 0。进入成本为 10。双寡头竞争使市场收益为 100，由两家平分。

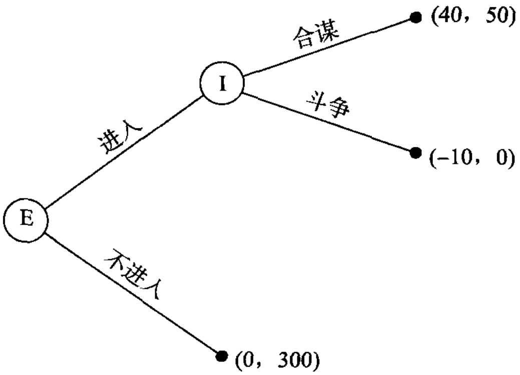
从行动顺序可以得到策略集合，它们分别是进入者｛进入，不进入｝，在位者｛如果进入发生合谋，如果进入发生斗争｝。表 4—1 中用黑体表示了博弈的两个纳什均衡：（进入，合谋）和（不进入，斗争）。（不进入，斗争）是弱均衡，因为给定进入者不进入，在位者也可以合谋。

表 4—1　　进入威慑 I

		在位者		
		合谋		斗争
	进入	**40，50**	←	−10，0
进入者		↑		↓
	不进入	0，300	↔	**0，300**

支付：（进入者，在位者）。箭头表示参与人如何增加支付。

将扩展式（图 4—3）变成策略式（表 4—1）表述的博弈，会丢失一些信息，那就是进入者先行动。一旦他选择进入，则在位者的最优选择是合谋。



支付：(在位者，进入者)。

图 4—3　进入威慑 I

在位者威胁要斗争是不可置信的，只有当在位者能够强迫自己斗争时，这个威胁才可信，而这时他不用真的斗争，因为进入者将会选择不进入。（不进入，斗争）是纳什均衡，但不是完美子博弈均衡，因为如果博弈进行到进入者已经选择了“进入”时，在位者的最优选择是“合谋”。这并非证明在双寡头垄断中，合谋是不可避免的，但合谋的确是博弈进入威慑 I 的均衡。

对于完美均衡的颤抖的手的解释可以用到这里。只有在位者肯定进入者不会进入，他才会认为斗争和合谋是无差异的，但是只要有一个很小的概率进入者选了进入——或许是进入者一时糊涂——那么在位者就会选择合谋，从而使纳什均衡被破坏了。

完美剔除了不可置信的威胁。进入威慑 I 是一个好例子，因为如果在博弈树中加上一个沟通行动，在位者就会告诉进入者，进入的结果将导致斗争，但进入者将不理会这个不可置信的威胁。但如果在位者采用某种方式强迫自己必须对进入行为采取斗争，那么，这个威胁就变成可置信的了。下一节我们将研究要挟诉讼的例子，在这个例子中，这种强迫自己的方式是可能的。

建模者可以使用非完美均衡吗?

我们可以通过以下两种方式建立一个参与人能承诺他一定会实施某种策略的博弈： 113

（1）一个可以接受非完美均衡的博弈；

（2）改变博弈，在前面一个结上将“采取 X”换成“承诺将采取 X”。

方法（2）的一个应用是在进入威慑博弈中让在位者先行动，在进入者选择前就决定是否斗争。方法（2）优于（1），因为如果建模者想让参与人承诺某些行动而不是别的，他可以通过仔细规定行动顺序来做到这一点。允许非完美均衡阻止了这种差别并增加了均衡的数目。事实上，子博弈完美概念的问题不在于它太严格了，而在于在非对称信息博弈中，它仍然允许过多的策略组合达到均衡。一个子博弈必须是从一个单结开始，并且不能切割任何参与人的信息集，这使得一个博弈经常只有一个子博弈，那就是它本身。这样，子博弈完美根本没有限制均衡。6.1 节将讨论完美贝叶斯均衡和其他一些将完美概念扩展到非对称信息博弈上的方法。

4.3 要挟诉讼博弈中的可置信威胁、沉没成本和开集问题

像沉没成本和理性预期等有关的概念一样，序贯理性是一个简洁而又有力的思想。这一节将在另一个简单博弈——要挟诉讼（nuisance suits）——

中展现它的力量。我们已经学过一个博弈论在法律上应用的例子了，就是 2.5 节中的潘格模型（Png，1983）。从某种程度上说，用博弈论来分析法律问题特别适合，因为法律程序所关心的是矛盾冲突以及用于规范这些冲突的法律条款。还有什么其他领域中的论文可以用《68 条款的经济学分析》（"An Economic Analysis of Rule 68"）来作标题吗？米勒（Miller，1986）讨论了一个惩罚拒绝接受定盘的诉讼当事人的联邦法律条款。这方面的发展可以通过对艾尔斯（Ayres，1990）为本书第一版所写的评述及贝尔德、格特勒和皮克尔的书（Baird，Gertner & Picker，1994）看出来。法律比商业还要清晰，因为它的一个主要目标是通过调整法规尽量避免无效率的结果。而要挟诉讼正是一个好的政策制定者想消除的那种无效率。

要挟诉讼是指那种原告几乎不可能胜诉而其唯一的目的可能是希望通过私了得到一笔赔偿的诉讼。在进入威慑博弈中，人们通常认为规模大是一种优势，大的在位者可以威胁小的进入者；但是在要挟诉讼中，规模大是一种劣势，富有的个人或组织容易受到外部诉讼人的伤害。要挟诉讼 I 描述了这种情况的基本要点：提出诉讼是很昂贵的，而且胜算很小，但因为辩护同样非常昂贵，被告可能会支付一笔可观的补偿以求私了。这个模型与第 2 章中的潘格博弈在许多方面相似，但是这个模型是对称信息博弈，我们将对它作
114 明确的序贯理性要求，而第 2 章的讨论只是暗含了这个要求。

要挟诉讼 I：简单勒索

参与人

一个原告和一个被告。

博弈顺序

（1）原告决定是否指控被告，指控的成本是 c。

（2）原告提出一个无协商余地的赔偿金额 $s>0$，以求私了。

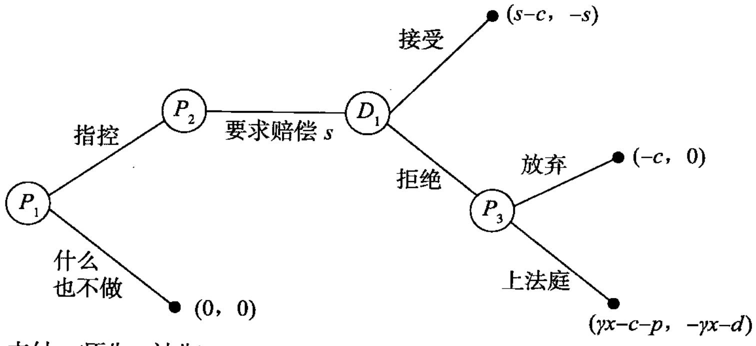
（3）被告决定接受或拒绝原告的要求。

（4）如果被告拒绝原告的要求，原告将决定是放弃还是告上法庭，告上法庭给自己带来的成本是 p，给被告带来的成本是 d。

（5）如果告上法庭，原告以 γ 的概率胜诉，从而获得赔偿 x，否则什么也得不到。

支付

支付见图 4—4，令 $\gamma x<p$，这样原告的期望赔偿小于他起诉的边际成本。



支付：(原告，被告)。

图 4—4　要挟诉讼博弈的扩展式

这个博弈的完美均衡是：

原告：不指控，要求赔偿 s，放弃。

被告：拒绝。

结果：原告不指控。

均衡时的私了赔偿额 s 可能是任意正数。注意均衡给出了这个博弈在四 115
个结上的行动，即便在均衡时只有第一个能达到。

为了找到一个完美均衡，建模者采取了迪克西特和纳尔巴夫（Dixit & Nalebuff，1991，p. 34）的建议："正向观察，逆向推理"，就是从博弈树的末端开始推理。在结 P_3 上，原告将会选择放弃，因为 $\gamma x-c-p<-c$。这是因为诉讼的目的是庭外私了而不是胜诉。在结 D_1 上，被告由于预见到了原告将会放弃，因此，拒绝任何的私了赔偿。这就使得原告在 P_2 上的私了要求变得无意义，由此可见，在 P_1 上选择指控将只会得到支付 $-c$，因此原告选择不指控。

如果要挟诉讼发生，那么除了原告希望通过庭外私了获得一笔赔偿这个显然的原因外，还必定存在别的什么原因。这个原因是有问题的，因为既然原告将承担起诉费，那么他就不可能作出可置信的威胁。即使被告的辩护费用大大高于原告的起诉费用（d 远大于 p），这个原因也是有问题的，因为费用的相对大小并未进入我们的讨论。

可能有人会考虑风险规避是如何影响结论的。因为被告比原告更加厌恶风险，难道他真的不会同意庭外私了吗？这是一个好问题，但是要挟诉讼Ⅰ也适用于存在风险规避的情况，而且结果几乎没有什么变化。风险可以在上法庭阶段进入博弈，作为最后一个行动由自然来选择谁将获胜。在要挟诉讼Ⅰ中，

γx 代表获得赔偿的期望值。如果被告和原告的风险厌恶程度相同，γx 可以表示从赔偿中获得的支付——仅将 x 和 0 理解成现金带来的效用，而不是现金的量就可以了。如果参与人的风险厌恶程度不一样，那么被告的期望损失就不等于原告的期望收益，因此必须调整支付。如果被告更加厌恶风险，上法庭的支付应为（$-c-p+\gamma x$，$-\gamma x-y-d$），这里 y 表示对被告附加的风险成本。但是，这样也不影响博弈的均衡。这个博弈的关键是，原告由于自己的成本而不愿上法庭，而被告的成本包括其承担风险的成本，与原告无关。

如果要挟诉讼发生了，那么一定存在着某种更为复杂的原因。在第 2 章中，我们已经从潘格博弈中看到了一种使得双方最终对簿公堂的原因：不完全信息。这可能是最重要的解释，并且对它的研究也非常多，可以从库特尔和鲁宾菲尔德（Cooter & Rubinfeld，1989）以及凯南和威尔逊（Kennan & Wilson，1993）的研究看出这一点。但是，在这一节中，我们将把解释局限在完全信息的范围内，即胜诉的概率是一个共识。即使这样，威胁也可以由于策略性地制造沉没成本（要挟诉讼Ⅱ）或由于上法庭产生的非货币支付（要挟诉讼Ⅲ）而变得可置信。

要挟诉讼Ⅱ：策略性地运用沉没成本

我们现在运用罗森伯格和沙威尔（Rosenberg & Shavell，1985）提供的方法，对原博弈作一下修改，使得原告可以事先就付给他的律师薪酬 p，即使案子私了也不收回。通过改变博弈的支付，原告放弃将获得 $-c-p$，与上法庭将得到的 $-c-p+\gamma x$ 相比，实际上不能收回律师费对原告有利。当预支指控成本后，只要 $\gamma x>0$，即只要原告有赢的可能性，他就会上法庭。

116 这就意味着只有当 $s>\gamma x$ 时，原告才会愿意私了而不是上法庭。当 $s<\gamma x+d$ 时，被告将愿意私了而不是上法庭，因此，存在着一个有效的**私了区域** $[\gamma x, \gamma x+d]$，在这个区域内，双方都愿意私了。而具体的赔偿金额将取决于双方的讨价还价能力，后者将在第 12 章中讨论。这里，允许原告作出一个无协商余地的赔偿要求意味着在均衡时 $s=\gamma x+d$，且如果 $\gamma x+d>p+c$，即使 $\gamma x<p+c$，要挟诉讼也会发生，因此，原告提出指控仅仅因为他可以勒索 d，这个数值是被告的辩护成本。

即使原告能够勒索一笔私了赔偿，他做这件事仍是有成本的，因此要挟诉讼的均衡要求

$$-c-p+\gamma x+d\geqslant 0 \tag{4.1}$$

如果不等式（4.1）不成立，即使原告可以得到最大可能的赔偿 $s=\gamma x+d$，

他也不会这么做，因为在私了以前他必须付出 $c+p$，这就意味着一个完全无胜算的诉讼（$\gamma=0$），只有在被告的辩护费高于原告的起诉费（$d>p$）时才可能发生。但是，如果不等式（4.1）成立，下面的这个策略组合就是一个完美均衡：

原告：指控，要求赔偿 $s=\gamma x+d$，上法庭。

被告：接受 $s\leqslant\gamma x+d$。

结果：原告提出指控，要求私了赔偿，被告接受。

对付原告这种策略的一个显而易见的办法是，被告在关于私了的协商尚未进行之前，甚至在原告决定指控被告之前就预先支付律师费 d。这可能就是为什么许多大公司除了雇用按时计酬的外部律师外都雇用内部律师的原因，这种律师可以得到一个与他的工作时间无关的薪水。如果是这样，要挟诉讼就会带来社会损失——浪费律师的时间，花费 d——即使要挟诉讼从未发生，正如一些好战的国家引起的全球军费开支造成了社会损失，即使这些国家从未发起过战争。[2]

但是，试图制造沉没成本 d 的被告还面临着两个问题。第一，这样做可以通过阻止原告提出指控从而给被告节省了 γx，但是被告一定得支付 d。如果原告拥有全部的讨价还价能力，这笔付出是值得的，如要挟诉讼Ⅱ所发生的情况；但是，如果 s 位于私了赔偿区域的中点就不值得了，因为原告无法作出“要么接受，要么拒绝”的赔偿要求。如果私了谈判的结果是 s 位于赔偿区域的中点，即 $s=\gamma x+(d/2)$，那么被告花 d 去阻止将产生私了赔偿额 $\gamma x+(d/2)$ 的要挟诉讼就不合算了。

第二，在这个诉讼中存在着一个不对称：原告拥有是否提出指控的选择权。由于是原告有主动权，他可以在被告有机会制造沉没成本之前就制
造沉没成本 d 并提出赔偿要求。对于被告来说，唯一能避免这种情况的办 117
法是很早就预先支付 d，在这种情况下，如果没有指控发生，则这笔钱就浪费了。被告最愿意的是买法律保险；只要付一笔不多的保费，就会在将来遭到指控时，支付辩护所需的所有费用。但是，正如我们在第 8 章和第 9 章中将会看到的，任何险种的保险都面临信息不对称所产生的问题。在这里，存在“道德风险”问题，因为一旦被告投保之后，他避免受原告指控的激励就降低了。

要挟诉讼Ⅱ中的开集问题

要挟诉讼Ⅱ阐明了一个产生于许多连续策略空间博弈中的技术要点，这

个技术要点给博弈论初学者带来了极大的困扰。要挟诉讼Ⅱ中的均衡仅仅是一个弱均衡，原告提出 $s=\gamma x+d$，不论被告接受或拒绝，被告都会得到相同的支付，但是在均衡中，尽管被告无差异，他还是以概率 1 选择了接受。这看起来有些武断甚至愚蠢，难道原告不会提出一个稍低的赔偿要求，使被告有激励接受从而避免上法庭吗？比如，如果 $s=\gamma x+d=60$，为什么原告就不会要求 59 使被告有强大的激励接受，而非要坚持要求 60 使自己很有可能被拒绝从而得到 0 呢？

一个原因可能是由于除了 $s=60$，没有其他的均衡存在。59 不是均衡的一部分，因为它劣于要求 59.9，要求 59.9 又劣于 59.99，如此循环往复。这就是**开集问题**（open-set problem），因为被告希望接受的要求集是开的并且没有最大值——但它是有界的，为 60。但是，要保证最大值存在要求一个集合是有界且闭的。

另一个原因可能在于在理性和纳什均衡的假设前提下，反对理由的前提是错误的，因为原告在要求 $s=60$ 时根本没有风险。对于纳什均衡，一个根本的条件是，每个参与人都相信其他人会采取均衡行动。所以，如果在均衡策略组合里被告会接受 $s\leqslant 60$，那么原告就能够要求 60 并且相信这个要求会被接受。这事实上是说弱纳什均衡仍然是一个纳什均衡，这一点在第 3 章关于混合策略的讨论中已经强调过了。

还有一个解释是说这个问题是一个使用连续策略空间博弈模型所导致的现象，如果策略空间被离散化，这个问题就不存在了。假设 s 的取值只能精确到 0.01，那么它可以是 59.0、59.01、59.02，但不可能是 59.001 或 59.002。这样，这个博弈的要求赔偿部分只有两个完美均衡。在强均衡 E_1 中，$s=59.99$，被告将接受任何 $s<60$ 的要求；在弱均衡 E_2 中，$s=60$ 且被告将接受任何 $s\leqslant 60$ 的要求。这两者之间的差别是非常微小的，离散化的策略空间只是将模型变得更复杂而并没有什么特别的思想。[3]

118 我们也可以通过设计一个更复杂的讨价还价博弈来避免考虑赔偿额究竟是如何确定的这个问题。这样，你可以说赔偿额不是由原告提出的，而仅仅是一个位于赔偿区域中间的数值（$\gamma x+d/2$）。这种做法看起来还是很合理的，并且在给模型增加了一些真实性的同时，只给模型增加了一点点复杂性。它仅仅通过避免去弄清 s 是如何决定的问题就避免了开集问题。我称这种建模方式为**黑箱化**（blackboxing），因为它看起来好像只在博弈的某一点上，一些变量进入一个黑箱，然后从另一端出来的时候，它们的值就由某种外生过程决定了。黑箱化是绝对可以接受的，只要它既不增加又不掩盖模型所建立的节点。要挟诉讼Ⅲ就说明了这种方式。

但是，需要随时记住的最根本的一点是，博弈只是一些模型而不是现实。模型的用意在于去掉真实情况中不重要的细节，将其简化到本质内容上。既

然一个模型试图回答一个问题，它就应该将重点放在能回答问题的东西上。这里的问题是，为什么要挟诉讼会发生，那么如果讨价还价与答案无关，就应该排除相关的细节，至于原告会要求 59.99 还是 60 或者一个理性人会以 1 还是以 0.99 的概率接受赔偿要求，这些都是不重要的细节。什么方法最简单，就应该采用什么方法。如果建模者还是认为这些事情是重要的，那么事实上也能够将它们纳入模型，但它们在模型中的确是无足轻重的。

对于开集问题，一种考虑可能来源于有人可能认为支付并非那么实际，因为一个参与人会从伤害无辜的参与人那里得到效用。如果原告要求赔偿 60，这样可以使所有从避免上法庭中节约下来的钱都归他，那么日常经验告诉我们，被告一定会愤慨地拒绝。古思、施米特伯格和施瓦茨（Guth，Schmittberger & Schwarze，1982）在实验中发现，人们会拒绝他们认为不公平的讨价还价。如果这种愤慨真的重要，那么它可以明确地算入支付当中，但是如果真的这样做了，开集问题就又回来了。不管人们怎么说，愤慨都不会是无限的。假设如果被告接受了一个更有利于原告的赔偿要求，就会给他带来 x 的负效用，因为他对于不公平的遭遇感到很愤慨。这样原告将会提出的要求赔偿恰好是 $60-x$，因此均衡还是弱的，而且被告对于接受和拒绝还是无差异的。开集问题依然存在，哪怕在模型中已经加入了对真实情感的考虑。

我在开集问题上费了大量口舌并不是因为它很重要，而是因为它经常出现，而且是人们不熟悉建模的一个很关键的原因。对于熟练的建模者而言，开集问题不会困扰他们。这不像其他的一些我们已经讨论过的基本问题——例如，纳什均衡是如何成为参与人的共识的——但是，明白开集问题为什么不重要却是一件重要的事。

要挟诉讼Ⅲ：恶毒情绪

博弈论中最普遍的一个误解，同时也是经济学中的一个误解是，它忽略了不理性和非金钱的动机。博弈论确实把参与人最基本的动机当做模型外生给定的，这些动机对博弈的结果确实非常关键，并且经常是非金钱的，尽管支付总是用数量表示。博弈论不会将一个更偏好休闲而不是金钱的人或者一个想当世界的独裁者的人称作不理性的。为了准确地表示参与人的行为以及博弈的结果是如何影响参与人的效用的，必须对参与人的情绪进行非常仔细的度量。 *119*

情绪对于诉讼经常是很重要的。法学教授告诉学生，当他们发现一起纠纷琐碎得根本不值得上法庭时，就可以猜测真正的动机是感情方面的。情绪进入博弈的方式有许多种。原告可能就是简单地喜欢上法庭，这可以用 $p<0$ 来表示。在许多犯罪案件中，这是成立的，因为检察官喜欢新闻曝光并且在公众中建立起彻底调查某类犯罪的信誉。1992 年和 1993 年的罗德里・金

（Rodney King）案的审判就属于这一类情况，不论这个案件对那些殴打了金的警察是否有利，检察官只需要把事情提上法庭，以迎合公众的义愤。当州检察官在第一次审判中败诉后，联邦政府很乐意地承担了第二次上诉的费用。另一个不同的动机是，原告会从胜诉这个事实中获得与货币赔偿完全无关的效用，因为他想让公众知道他是站在正义一边的。这一点经常是诽谤诉讼或一个想要澄清自己的好名声的被告的动机。

上法庭的另一个动机是那种故意给被告带来损失的愿望，我们称之为“恶意”，尽管它可能会被不正确地称作“义愤填膺”。在这种情况下，d 作为取值为正的自变量进入原告的效用函数。我们将构建一个模型，称作要挟诉讼Ⅲ，并假设 $\gamma=0.1$，$c=3$，$p=14$，$d=50$，$x=100$，而且原告还会多得到一个数量为被告的效用减少量的 0.1 倍的正效用。下面我们采用前面讨论过的黑箱化的方法，假设赔偿要求 s 正好在赔偿区域的正中间。指控发生时的支付为：

$$\pi_{原告}(被告接受)=s-c+0.1s=1.1s-3 \tag{4.2}$$

和

$$\begin{aligned}\pi_{原告}(上法庭)&=\gamma x-c-p+0.1(d+\gamma x)\\&=10-3-14+6=-1\end{aligned} \tag{4.3}$$

现在，我们根据序贯理性从博弈的末端开始推理，并注意既然原告从放弃中得到的支付是−3，如果被告拒绝，原告将会上法庭。这样从指控到最后上法庭，总的支付是−1，比根本不指控的支付 0 要差，但是如果 s 足够大，从指控和私了中得到的支付仍然要高一些。如果 s 大于 1.82（$=(-1+3)/1.1$），原告将更愿意私了而不是上法庭；如果 s 大于 2.73（$=(0+3)/1.1$），他就会更愿意指控之后私了，而不是上法庭。

在确定赔偿区域时，相应的支付是提出指控所增加的期望支付。只要 $s\geqslant 1.82$，原告就会同意私了；同时，像以前一样，被告在任何 $s\leqslant\gamma x+d=60$ 时都会同意私了。这样，赔偿区域是 [1.82，60]，且 $s=30.91$。这个赔偿额不再是某个参与人的最大化的选择，因此均衡的结果变成：

原告：请求上法庭。

被告：接受 $s\leqslant 60$。

120 结果：原告指控并要求赔偿 $s=30.91$，被告接受。

在这里，完美的概念是非常重要的，因为被告可能会威胁说绝不私了，而原告可能相信。给定原告从诉讼中获得的期望支付是−1，他将不会提出指控，这样，一个可置信的威胁是有效的。但这样的威胁是不可置信的。一旦

原告提出指控，在剩下的子博弈中唯一的纳什均衡是被告接受私了。这一点很有趣，因为哪怕原告的愿望是上法庭，但还是会以庭外私了而告终。如果信息是对称的，像这里的情况一样，那么均衡就会趋向于有效。即使原告想要伤害被告，他同样也想使自己的花费尽可能地低。因此，如果能够使原告节省诉讼费的话，他会希望对被告的伤害少一些。

在结束这些模型的讨论之前还有一点需要注意：建模的很大一部分价值正是来自对博弈规则的建立，而这一点帮助模型揭示了在一个情形下什么是最重要的。在建立要挟诉讼博弈模型时产生的一个问题是，"要挟诉讼"究竟是什么。在要挟诉讼的博弈中，它被定义为从诉讼中获得的期望赔偿无法弥补原告上法庭的花费。但是这个定义又带来了另一个问题，我们称之为要挟诉讼：原告知道除非法庭作出错误判决，否则他不会胜诉。既然法庭可能会以一个很高的概率出错，则这些博弈可能就不是适当的模型了。γ会很高，问题就不是原告从上法庭获得的支付很低了，而是这个支付很高。这也是一个重要的问题，但是必须重建一个模型，以说明它是不同于其他问题的。

4.4 子博弈中帕累托优势均衡的再调整：帕累托完美

在第1章中曾提到过一种简便的均衡优化方法，就是去掉所有帕累托劣势纳什均衡的策略组合。所以，在分级协调博弈中，差一些的纳什均衡会被当作不可接受的均衡去掉。这种方法背后隐藏的思想是，参与人会以一种非模型的方法讨论他们的处境并协调一致，以避免坏的均衡。因为只讨论纳什均衡，参与人的协议是自我实施的，这种方法比在合作博弈中使参与人达成有约束力的协议的那种方法需要一个更强的假设。

可以用两种方式来考虑合作的思想。一种是考虑到参与人在有利的均衡上达成协议，这样两个参与人会在这个均衡上协作，哪怕第三个参与人不喜欢这个均衡。伯恩海姆、皮莱格和温斯顿（Bernheim，Peleg & Whinston，1987）以及伯恩海姆和温斯顿（Bernheim & Whinston，1987）定义：如果没有一个参与人之间的联盟能够形成一个背离它的自我实施的协议，一个纳什策略组合是一个**抗联盟纳什均衡**（coalition-proof Nash equilibrium）。他们进一步将这个概念置于序贯理性之下。做到这一点的一个自然的方法是，要求在后面的子博弈中没有联盟会背离均衡。这个概念有很多名字，包括**抗再谈判**（renegotiation proofness）、**再协调**（recoordination）（例如Laffont & Tirole（1993，p. 460））以及**帕累托完美**（Pareto perfection）（Fundenberg & Tirloe，1991a，p. 175）。这个概念在无限期重复博弈的分析

中被大量使用，而无限期重复博弈属于典型的多均衡问题。阿布里、皮尔
121 斯和斯塔奇提（Abrea，Pearce & Stachetti，1986）的著作就是这种文献的一个例子。无论用哪一个名字，这个概念与将在第 8 章中讨论的委托—代理模型中的再谈判问题是不同的，委托—代理问题涉及改写原先的约束性合同的问题。

最好地说明帕累托完美要领的例子是帕累托完美难题，图 4—5 是它的扩展式。在这个博弈中，史密斯选择进入或出局权 1，这样每个参与人将得到支付 10。琼斯接着选择出局权 2，这样每个参与人将得到支付 20；另外两个选择要么产生一个合作博弈，要么产生一个囚徒困境。图 4—5 将支付矩阵插入扩展式，而不是将所有子博弈都用扩展式表述出来。

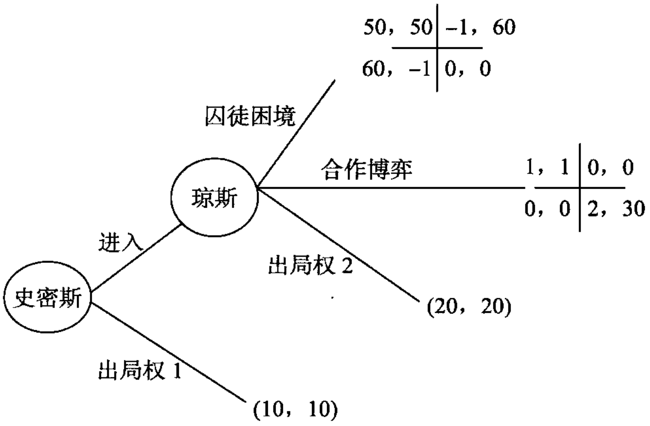


图 4—5 帕累托完美难题

帕累托完美难题展示了完美与帕累托优势之间复杂的相互作用。这个博弈的帕累托优势策略组合是［进入，囚徒困境｜进入，合作子博弈的任何行动，在囚徒困境子博弈中产生（50，50）的行动］。没有人会认为这个策略组合是一个均衡，因为它既不是完美概念，也不是纳什概念。完美概念告诉我们，如果囚徒困境子博弈实现了，支付将会是（0，0）；如是合作子博弈实现了，支付将会是（1，1）或（2，30）。根据这一点，这个帕累托完美难题的完美均衡是：

E1：［进入，出局权 2｜进入，在合作子博弈中产生（1，1）的行动，在囚徒困境子博弈中产生（0，0）的行动］。支付为（20，20）。

E2：［出局权 1，合作博弈｜进入，在合作子博弈中产生（2，30）的行动，在囚徒困境子博弈中产生（0，0）的行动］。支付为（10，10）。

如果只用帕累托优势的概念而不用完美概念，E1 就是均衡，因为两个参与人都偏好它。但是，如果参与人能够在博弈的任一点上到达合作子博弈，参与人将在产生（2，30）的行动上重新合作，帕累托完美概念就将 E1 剔除在均衡之外。它不仅将产生（50，50）的帕累托优势策略组合剔除在均衡之外，还将产生（20，20）的帕累托优势完美策略组合剔除在均衡之外。相反，均衡的支付是（10，10）。因此，帕累托优势并非简单地挑出帕累托优势完美策略组合。 122

很难讲在这里哪一个均衡是最好的。因为这是一个抽象的博弈，并且我们不能用真实世界的细节来优化这个模型。运用优化均衡的方法可能并不如用完美背后的直觉去获得结果。这里的直觉在于参与人会使用某种方法——或许是开放式的讨论——在帕累托优势的均衡上达成合作。如果我们用帕累托难题对学生做实验，我会预计一些不同的均衡，这些均衡取决于允许存在什么样的沟通。如果只允许参与人在博弈开始之前谈话，那么 E1 更可能是最后的均衡，因为参与人会同意这样做，并且以后就不再有机会重新合作了。如果允许参与人在博弈的任何时候交谈，E2 就变得更合理了。真实世界里存在多种不同的沟通方式，所以并没有一个所谓正确的答案。

注

N4.1 子博弈完美

- “完美”（perfectness）和“完美性”（perfection）被当做同义词使用。泽尔腾（Selten，1965）在一篇德文论文中提出了这个均衡概念。泽尔腾（Selten，1975）的著作使用了“完美”一词，表达出了一种完全的意思，这个意思比“完美性”所表达出的“好”这个意思更加适合这个概念，但是“完美性”的应用更为普遍。
- 子博弈的定义是否应该包括原博弈本身有很大的争议。例如，吉本斯（Gibbons，1992，p. 122）的著作中就不包括，而且建模者在他们的讨论中通常也是不包括的。
- 完美不是剔除弱纳什均衡——如（不进入，合谋）——的唯一方法。在进入威慑Ⅰ中，（进入，合谋）是唯一的重复剔除的优势均衡，因为斗争对于在位者是弱劣势的策略。
- 完美纳什均衡与非完美纳什均衡的不同之处就像在动态规划中**闭循环**（closed loop）和**开循环**（open loop）轨迹之间的不同。闭循环（或曰反馈）轨迹在开始后可以被修正，就像完美均衡策略一样，而开循环

轨迹是完全事先规定好的（尽管它们依赖于状态变量）。在动态规划中，这个区别还不是很重要，因为事先规定好的策略并不改变其他参与人的行为。例如，不存在一个改变月亮引力对火箭作用的威胁。

- 一个子博弈可能会无限长，而无限博弈可以有非完美均衡。无限重复的囚徒困境博弈是一个例子；每一个子博弈看起来都与原来的博弈一样，只不过是从不同的时点开始。
- **宏观经济学中的序贯理性**（sequential rationality in macroeconomics）。在宏观经济学中，**动态一致性**（dynamic consistency）或**时间一致性**（time consistency）的要求类似于“完美”。这两个词不如“完美”定义得那么准确，但是它们通常只要求某策略是从均衡路径上某一点开始的子博弈的最优反应，而不是所有子博弈。在这个意义上，时间一致性是比完美宽松一些的条件。

  例如，美联储可能会想通过引发通货膨胀来刺激经济，但是只有当通货膨胀没有被预期到时，经济才能被刺激。如果通货膨胀被预期到了，其影响只有负面的，因为一些公众知道美联储可能会愚弄他们，于是他们就不会相信美联储所说的不会引起通货膨胀的话（见 Kydland & Prescott（1977））。同样，政府可能会发行名义债务，而向债权人承诺它会
123 将通货膨胀控制得很低，但是一旦债务发生了，政府就有激励去制造通货膨胀，使实际利率为0。美联储独立于国会的原因之一就是为了消除这个问题。
- 经常有这种情况，非理性——通常是自动的而不是策略性的行为——是一个优势。电影《奇爱博士》（*Dr Strangelove*）中的末日机器就是一个例子。苏联认为不可能在一场理性的军备竞赛中超过更富有的美国，所以它就制造了一颗炸弹，如果任何人引爆了这颗核炸弹，它将自动爆炸并毁灭整个世界。这部电影还描述了一个关键的细节，如果没有这个细节，非理性会变得更糟：你必须告诉另一方你有这么一个末日机器。

  据说美国前总统尼克松曾告诉他的副手 H. R. 哈德曼，他对这个策略有更为复杂的看法：“我称之为疯子理论，鲍博。我要让越南相信，我已经到了无论付出多少都要结束战争的地步。我们只要让他们听到这样的传闻：‘看在上帝的分上，尼克松已经被共产主义搞疯了。当他生气时，我们无法制止他——他已经将手放在核按钮上了。’——胡志明两天之后就会亲自到巴黎求和的”（H. R. Haldeman & Dimona，*The Ends of Power*，1978，p. 83）。6.4 节中的“四人帮”模型试图对这种情况建模。

- “锁定协议”是可置信威胁的一个例子：在反兼并的斗争中，毁坏公司的威胁是要负法律责任的（见 Macey & McChesney（1985，p. 33））。
- 同序贯理性行为相关的一个著名的悖论是“星期五随堂测验悖论”。你将在下星期参加一场考试，但我会选择一个考试日期，而这个日期会出乎你的意料。但如果到了星期四还没有考试的话，你将知道考试一定是在星期五，这不足为奇，于是，考试对你来讲就显得更容易了。将上述讨论应用于星期三也同样适用，这样，通过同样的讨论可以把每一天都排除在外。从奎恩（Quine，1953）到希克（Schick，2003，ch. 5）的心理学家已经指出了这一点。

N4.2　完美的一个例子：进入威慑 I

- 双寡头（3.4 节）的斯塔尔伯格均衡可以被看做修改后的古诺模型的完美均衡。修改后的古诺模型让一个参与人先行动，类似于进入威慑 I 的一个博弈。先行动的参与人是斯塔尔伯格领导者，而后行动的参与人是斯塔尔伯格追随者。追随者可以威胁说它会生产一个高产量，但是，如果领导者先生产了一个高产量，它就不会实施它的威胁。
- 在生物博弈中，完美并不是均衡必需的性质。行动顺序很重要的原因在于，理性的最佳反应依赖于博弈所达到的节点。在许多生物博弈中，参与人靠直觉行动，不假思索的行为并非不实际的。
- 赖因格纽姆和斯托奇（Reinganum & Stokey，1985）用开发自然资源的例子很好地表现了完美的含义以及对它的赞成。

习　题

4.1　重复的进入威慑博弈（容易）

考虑 4.2 节中的进入威慑 I 博弈，将这个博弈重复两遍，且不考虑贴现。假设有一个进入者，依次决定是否进入有两个相同在位者的市场。

(a) 画出这个博弈的扩展式。

(b) 进入者的策略集合中有哪 16 个元素？

(c) 完美子博弈均衡是什么？ 124

(d) 写出一个非完美纳什均衡。

4.2　三种方式的决斗（中等难度）（见 Shubik（1954））

有三个持枪歹徒，阿尔、鲍勃和柯利，在同一个房间中，房间里有一个

装着 120 000 美元的保险箱。阿尔枪法最差，杀死目标的机会仅有 20%。鲍勃的机会是 40%。柯利开枪很慢，但是准确率很高，杀死目标的机会是 70%。对每个人来讲，自己生命的价值高于任何数量的金钱。幸存者会一起分钱。

（a）假定每一个歹徒仅有一发子弹，开枪的顺序是阿尔首先开枪，鲍勃其次，柯利最后。同时假定每个歹徒在轮到自己开枪时都会努力想杀死一个歹徒。均衡策略组合是什么？每个歹徒在这个均衡中死亡的概率是多少？提示：不要尝试画博弈树。

（b）现在假定每个歹徒有一个附加的选择：向天花板射击，这有可能将楼上的某个人杀死，但对这个歹徒的支付没有直接影响。你在（a）中找到的那个策略组合现在仍然是一个均衡吗？

（c）将三个歹徒代之以三家公司，Apex，Brydox 和 Costco，三家公司的产品仅有很细微的差别。你认为这三家公司会应用怎样的广告策略？

（d）在美国，参加大选之前，候选人必须先赢得自己所在党派的提名。你经常会发现，无论是民主党还是共和党，候选人都不太愿意在党派提名过程中作为领导者出现。但在大选时，候选人就不太在意他领先于对手这个事实被我们看到，为什么？

（e）20 世纪 20 年代，当列宁去世之后，很多人都为争夺苏维埃的控制权而竞争。首先是斯大林联合季诺维也夫与托洛茨基对抗，接着斯大林联合布哈林对抗季诺维也夫。然后斯大林将矛头转向布哈林。联系柯利、鲍勃和阿尔，谈谈你对这个现象的认识。

4.3 普里尼和自由民的案子（容易）（Pliny（105）“*To Aristo*，” Ricker（1986，pp. 78－88）

阿弗拉尼斯·德克斯特（Afranius Dexter）神秘地死了，可能是自杀，可能是被自由民（比奴隶高一等的仆人）杀死，也可能是他自己命令自由民将他杀死。自由民被送到罗马长老院去接受审判。假定 45%的长老偏好无罪释放（A），35%的长老偏好流放（B），20%的长老偏好处死（E），而在这三类人中偏好的顺序分别是 A>B>E、B>A>E 以及 E>B>A。进一步假设每一类人中有一个领导者，每一类都作为一个集团投票。

（a）现代法律程序要求法庭先认定被告有罪，如果被告被发现有罪，就处以一定的惩罚。画一棵树表示行动的顺序（这里没有博弈树，因为它代表不同集团的参与人的行动，而不是个人的）。完美均衡的结果是什么？

（b）假设无罪释放集团可以预先承诺如果在第一轮审判中罪名成立的话，

他们将在第二次审判中如何投票。他们会怎么做？结果是什么？如果处死集团在第二轮审判中能够控制无罪释放集团的行为，他们将会怎么做？

（c）正常的罗马程序先投票表决是处死还是不处死，然后如果“处死”没有获得多数同意，将在第二轮中针对剩下的两个选择投票。画一棵树来表示这一点。在这种情况下会发生什么？

（d）普里尼提出议员应按照他们是支持无罪释放、流放还是处死来分成三个集团投票，得票最多的结果将获得通过。这个提议引起了反对的呼声。他为什么要这样建议？ 125

（e）普里尼用他的投票程序也没有得到他所想要的结果，为什么？

（f）假设出于个人的考虑使得一个长老通过投票来表现其立场非常重要，即使他必须牺牲对于某一种结果的偏好。如果要通过投票来表决是采用传统的罗马程序还是普里尼的程序，谁将会赞成普里尼？自由民最后会怎样？

4.4 进入废品回收领域（中等难度）

特纳先生正打算进入某个大城市的废品回收领域。目前，卡特赖特公司的业务在该城市占据垄断地位，该公司在这个城市提供的 40 条路径上开展的业务总共可以赚得 4 000 万美元。特纳先生认为，在每条路径 150 万美元盈利的水平上，他可以从卡特赖特公司争夺任意多条路径。但他也很担忧，因为卡特赖特公司可能会采取暗杀行动，杀掉他并重新取得公司失去的路径。当利润达到 8 000 万美元时，卡特赖特会对特纳采取暗杀行动，其成本是 600 万美元，包含预期的法律成本以及被判入狱的可能性。

那么特纳会尝试从卡特赖特公司拿走多少条路径的业务呢？

4.5 投票周期（中等难度）

优诺、多和特雷斯三个人将在下周对某个项目应该增加、保持还是减少预算进行投票。他们三人从各种产出结果所得到的支付关于预算规模是单调的，其数值由表 4—2 给出。优诺认为，如果预算增加的话，这个项目会非常赚钱；但如果预算不增加的话，这个项目就会失败。多谨慎地认为这个项目只需要少一些的预算。特雷斯则更愿意保持现在的预算水平。

表 4—2 **不同政策所得到的支付**

	优诺	多	特雷斯
增加	100	2	3
保持	3	6	9
减少	9	8	1

三个人分别写下自己的第一选择。如果某个政策得到的选票最多，那么将采取这个政策。如果没有哪个政策得到了最多选票，那么就会选择保持。

(a) 证明（保持，保持，保持）是一个纳什均衡。为什么这个均衡看起来不合理呢?

(b) 证明（增加，保持，保持）是一个纳什均衡。

(c) 证明，如果每个参与人都存在一个相互独立的由于过于“忧虑”而选择错误行动的概率，那么（保持，保持，保持）和（增加，保持，保持）将不再是纳什均衡。

(d) 证明（减少，减少，不变）是一个纳什均衡，而且当每个参与人都存在一个相互独立的由于过于“忧虑”而选择错误行动的概率时，这依然是一个均衡。

(e) 上述 (d) 的结果说明，如果预期优诺和多会选择减少，那么，当特雷斯了解到他们两个人可能是由于忧虑才作此选择时，他会选择保持，而不
126 是增加。另一方面，假定特雷斯首先作出选择，而且是公开的。构造一个使得特雷斯选择增加的子博弈完美均衡。这时就不需要再考虑“忧虑”了。

(f) 考虑如下投票过程。第一轮，三个人在增加和保持这两者之间投票。第二轮，他们在第一轮的结果以及减少之间投票。如果第二轮之后“增加”没能成为被采取的政策，则第三轮将在增加以及第二轮的结果之间投票。

这将产生什么样的结果?（当心这个问题中暗藏的诡计!）

(g) 推测一下，如果支付变成参与人乐于得到的美元，而且参与人可以签订一个关于选票买卖的协议，将会发生什么结果? 你认为哪种政策会取胜? 哪种选票会以什么价格被买卖?

出售美国航空：第 4 章的课堂博弈

1995 年 10 月 2 日，当时美国第五大航空公司美国航空（US Air）宣布它将被联合航空（United Airlines）和美洲航空（American Airlines）收购。联合航空和美洲航空是美国最大的两家航空公司，双方对快速成长的高度竞争性的航空市场兴趣都非常浓厚。联合航空和美洲航空现在必须考虑该做些什么。

这两家公司的财务分析人员在咨询了战略投标师后分析了可能影响该收购项目的所有因素。他们指出，在初始阶段，联合航空会处于非常强势的地位，但这种局势会因竞标的进程而有所改变。

对于一家航空公司来讲，三种可能的结果分别是：

(1) 两家航空公司的出价均无法被美国航空接受。在这种情况下，联合航空和美洲航空都将保持它们的地位，同时它们未来的预期利润是

每家公司 500 亿美元。

(2) 在收购中获胜。获胜的航空公司将在市场上占主导地位，并获得 800 亿美元的预期利润。但收购美国航空公司的成本必须从该利润中扣除，以计算净利润，因此，收购方的支付为

$$支付_{获胜者} = 80 - B_{获胜者} \tag{4.4}$$

美国航空可接受的最低价格是 100 亿美元。

(3) 在收购中失败。由于其他公司赢得了收购，它们将获得更大的网络以及市场份额，因而失败的公司将会在同它们的竞争中遇到麻烦。更糟糕的情况是，获胜方在购买美国航空时出资越多，对失败的公司就越不利，其原因是，用于收购美国航空的资金的流动性将会很差，而且这部分资金将很难再用于航空公司扩大生产的投资。分析家认为，失败公司的支付可以近似地表述为

$$支付_{失败者} = 30 + 0.25 \times B_{获胜者} \tag{4.5}$$

特别地，如果获胜者仅出资 100 亿美元购买美国航空，失败方的利润将为 325 亿美元。 127

我们将考虑两种拍卖规则：逐级加价以及首次出价。

首次出价拍卖规则：美国航空将征求每个意愿买方的书面报价。一旦得到一个报价，将会对其公示。当只有一个报价时，如果这个价格高于 100 亿美元，这家公司将获胜。如果没有报价，美国航空将继续作为一家独立的公司存在。如果有两个报价，而且至少有一个高于 100 亿美元，则报价较高的一方将购买美国航空；而如果两家报价均低于 100 亿美元，则美国航空将不被出售。

逐级加价拍卖规则：美国航空将首先征得联合航空和美洲航空的原始报价，随机选择第一个报出的价格，并在获得第二个报价之前将其公示。如果没有一个报价高于 100 亿美元，美国航空将继续作为一家独立的公司存在。如果至少有一个报价高于 100 亿美元，美国航空将允许还价，并开始着手加价拍卖。获胜方将购买美国航空。

学生被分成两个三人小组，每个小组分别代表联合航空及美洲航空，分别在首次出价拍卖规则和逐级加价拍卖规则下进行拍卖。首先，在首次出价拍卖规则下进行，之后，在逐级加价拍卖规则下进行。

【注释】

[1] 从技术上来讲，正是由于在信息上合适，这才是一个合适的子博弈，但是没有一

个经济学家会莽撞到使用其他的子博弈种类。

[2] 传统上，预付给律师的不可返还的费用是可以接受的，但纽约的一个法庭最近裁定它们是不道德的，因为它认为这样的费用不公平地限制了当事人解聘律师的能力。这是对博弈论的无知导致不明不白的决策的一个例子。参见 “Nonrefundable Lawyers' Fees, Paid in Advance, Are Unethical, Court Rules,” *Wall Street Journal*, January 29, 1993, p. B3, citing *In the Matter of Edward M. Cooperman*, *Appellate Division of the Supreme Court*, *Second Judicial Department*, *Brooklyn*, *90 -00429*.

[3] 关于不连续的货币价值和序贯理性的一个好例子是罗伯特·路易斯·斯蒂文森的故事《瓶妖》(“*The Bottle Imp*”)(Stevenson, 1987)。瓶妖可以实现瓶子主人的愿望，但要摄取他死后的灵魂。尽管瓶子不能扔掉，但可以出售，可是价格不能高于购买时的价格。

第 5 章
对称信息下的声誉和重复博弈

5.1 有限期重复博弈和连锁店悖论

第 4 章介绍了如何在动态博弈中对纳什均衡的概念进行完美，以找出合理的均衡。重复博弈是一类很重要的动态博弈。在重复博弈里，相同的环境一次次地重复出现，参与人在重复出现的相同环境中作出同样的决策。第 5 章将考察博弈规则在每一次重复过程中都保持不变的重复博弈。所有的变化就是随着时间的流逝而不断变长的“历史”，如果博弈是有限期的，那么随着时间的流逝，博弈将越来越接近博弈的终点。因为参与人的行动可能会向外界传递他们的私人信息，所以信息结构也可能随着时间的流逝而发生变化，但是我们在这一章里只考察对称信息的博弈。 128

5.1 节证明了博弈的重复进行对进入威慑博弈和囚徒困境的结果基本上没有什么影响，这个现象就是连锁店悖论。无论是具有正的贴现率且博弈在每个时点上结束的概率大于零的无限期重复博弈，还是有效承诺，都不能有效地避免连锁店悖论的问题。5.2 节里的无名氏定理总结了以上这些问题。5.2 节还讨论了在重复博弈中对没有合作的参与人进行惩罚的策略，例如冷酷策略、针锋相对策略和最小最大支付策略。5.3 节在囚徒困境的基础上建立了一个声誉模型的框架。5.4 节介绍了一个特别的声誉模型，即克莱因-莱弗勒产品质量模型。5.5 节介绍了一个存在着消费者转换成本的迭代模型，在这个模型里我们用马尔可夫策略来减少均衡的数量。

连锁店悖论

某个连锁店在 20 个城市里都有分店，现在这个连锁店试图阻止竞争对手进入这 20 个市场。我们已经看到，如果竞争者只进入 1 个市场的话，在位者将不会选择斗争；但是现在有 20 个市场，在位者可能会为了阻止竞争者进入其他 19 个市场而选择斗争，因而现在的结果可能不同于只有 1 个市场时的均衡结果。

129 正如不重复博弈所说的那样，重复博弈比不重复进行的**一次性博弈**（one-shot game）要复杂得多。参与人的行动仍然是进入或不进入，以及斗争或合作，但是参与人现在的策略描述了当给定两个参与人在上一期的行动时，参与人在这一期将选择什么行动，参与人现在的策略是一个非常复杂的规则。即使囚徒困境只重复进行 5 次，每个参与人的策略集合中也有 20 亿个以上的策略，至于策略组合的数量就更多了（Sugden，1986，p. 108）。

现在我们来求解这个博弈。因为第一期的历史最短，所以一个显而易见的方法是从第一期开始求解。但是，这个方法不是最简单的求解方法。基尔克加德（Kierkegaard，1938，p. 465）曾经说过："我们只能从将来理解现在的生活，从现在理解过去的生活，但是我们的生活必须是从过去到现在，从现在到将来。"我们只能使用基尔克加德的方法来求解这个博弈。在采取第一个行动的时候，参与人已经预先估计了现在的行动对将来各期的影响，所以，最简单的方法是从多期博弈的最后一期开始求解，这时博弈的将来是最短的。

我们现在假设进入者企业已经进入了 19 个市场（在位者企业可能选择了斗争，也可能选择了合作）。在最后一个市场上，两个参与人发现他们所在的子博弈和一个一次性的进入威慑博弈是一样的，因此无论博弈过去的历史是怎样的，进入者企业都会选择进入，而在位者企业都会选择合谋。接下来我们考虑倒数第二个市场。在倒数第二个市场上，在位者企业将在最后一个市场上选择合谋是大家都知道的共同知识，因此在位者企业不能从"好战"的声誉中得到任何好处，所以在位的连锁店在第 19 个市场上也会选择合谋。我们可以用逆向归纳法来分析第 18 个市场乃至所有的市场，将得到同样的结论：在位的连锁店在包括第 1 个市场的所有市场上都将选择合谋。这个结论称为**连锁店悖论**（Chainstore Paradox），由泽尔滕（Selten，1978）提出。逆向归纳法保证了策略组合是一个完美子博弈均衡。这个博弈也有其他的纳什均衡，例如在位的连锁店总是选择斗争，进入者企业总是不进入。但是因为连锁店悖论的存在，这些均衡都不是完美均衡。

重复囚徒困境博弈

囚徒困境和进入威慑 I 博弈是类似的。这里，囚徒更希望他们都能选择抵赖，但是因为他们不能有效地承诺选择抵赖，所以他们都选择了坦白。我们可以用连锁店悖论来证明重复博弈不会导致合作行为。两个囚徒都知道在博弈的最后一期他们都会选择坦白。在博弈的第 18 期结束时，他们都知道无论他们在博弈的第 19 期选择什么策略，他们都会在第 20 期选择坦白，因此他们在博弈的第 19 期也将选择坦白。因为声誉在第 20 期不影响囚徒的行为，所以在第 19 期建立声誉是毫无意义的。逐期递推下去，我们发现唯一的完美均衡是两个参与人在每一期都选择坦白。

事实上，因为一次性囚徒困境有一个优势策略均衡，所以坦白不仅是重复囚徒博弈的唯一的完美均衡，也是唯一的纳什均衡。上一节的论证并没有证明坦白是唯一的纳什均衡。为了证明均衡是子博弈完美的，我们从最后一期往前倒推，用越来越长的子博弈来证明均衡的子博弈完美性。为了证明坦白是唯一的纳什均衡，我们将逐步排除不构成纳什均衡的策略，而不去考察子博弈。我们先考虑均衡路径上的那一部分策略（也就是和参与人的支付直接相关的策略）。所有在最后一期选择抵赖的策略都不是纳什均衡策略，只要把上面这些策略里的抵赖换成坦白，新的策略就优于原来的策略。但是，如果两个参与人在最后一期的策略都是选择坦白，那么在倒数第二期所有没有选择坦白的策略都不是纳什均衡策略，因为参与人将在倒数第二期偏离那些
均衡，并把策略里的抵赖换成坦白。同样的论证可以倒推至第 1 期，这样我 130
们就排除了所有在均衡路径上不选择坦白的策略。

和一次性博弈一样，总是选择坦白并不是一个优势策略。因为对于一些次优策略（例如，开始选择抵赖，如果其他参与人选择了坦白，那么就选择坦白，并且在博弈的其余部分也选择坦白）而言，它并不是最优反应。另外，均衡的唯一性只是在均衡路径上。非完美纳什策略可以要求参与人在远离均衡路径的节点上互相合作，虽然参与人实际上是永远也不会采取这些行动的。如果行已经选择了（总是坦白），列的一个最优反应是（总是坦白，除非行已经有 10 次选择了抵赖；如果行已经有 10 次选择了抵赖，那就总是选择抵赖）。

5.2 无限期重复博弈、最小最大惩罚和无名氏定理

连锁店悖论和人们所观察到的现实世界中的情况是不一致的。为了解决这一问题，我们在第 6 章中将不完全信息加入模型。但是，在回到不完全信

息问题之前，我们先考察其他几种对这个模型的修正。一个想法是把囚徒困境重复无限次，而不是有限次（毕竟只有很少的经济实体有已知的结束时间）。因为没有最后一期，连锁店悖论中的递推法也就不成立了。

事实上，我们能够在无限次重复的囚徒困境博弈中找到一个简单的参与人互相合作的完美均衡。这时两个参与人都采取冷酷策略。

冷酷策略

（1）开始时选择抵赖。

（2）一直选择抵赖，除非某些参与人选择了坦白；如果某些参与人已经选择了坦白，那么就永远选择坦白。

注意，根据冷酷策略（Grim Strategy），即使一个参与人自己首先选择了坦白，他也会在接下来的博弈里继续选择坦白。

如果列采取了冷酷策略，那么冷酷策略就是行的弱最佳反应。如果行选择了合作，他将永远得到（抵赖，抵赖）的较高支付。如果他不合作而选择了抵赖，他会得到一次（坦白，抵赖）的很高的支付，但他在以后最多只能得到（坦白，坦白）的较低支付。

无限次重复博弈并不必然导致合作行为，并且不是每一个惩罚坦白的策略都是完美的。一个著名的例子是针锋相对策略。

针锋相对策略

（1）开始时选择抵赖。

（2）此后，在第 n 期选择其他参与人在第 $n-1$ 期选择的行动。

如果列采取了针锋相对策略（Tit-for-Tat），那么行没有激励在开始时选择坦白。如果行合作地选择了抵赖，他将继续得到（抵赖，抵赖）的较高支
131 付。如果他选择坦白然后又回到针锋相对策略，那么两个参与人就会永远地交替选择（坦白，抵赖）和（抵赖，坦白）。行得到了一期的较高支付，但这时他的平均支付低于他坚持选择（抵赖，抵赖）时的支付。在没有贴现的情况下，如果行开始时选择了坦白，列对之进行惩罚是不理性的行为，因此针锋相对策略并不是无限次重复囚徒困境博弈的完美策略。坚持进行针锋相对的惩罚只会产生参与人交替选择坦白和抵赖这种很糟糕的情况，所以列宁愿忽略行在开始时选择了坦白。列在这里不是偏离了“选择抵赖”的均衡路径，而是偏离了“你承认，我也承认”的非均衡路径上的行动规则。和冷酷策略不同，针锋相对策略不是子博弈完美的（见 Kalai，Samet & Stanford（1988）以及习题 5.5 对此的详细讨论）。

定理 5.1（无名氏定理）

一个无限次重复博弈有 n 个参与人，且行动集合为有限集，那么，在任何一个有限次重复博弈中能够观察到的任何一个行动组合都是某个子博弈完美均衡的唯一结果，只要满足下列条件：

条件 1：时间偏好率为 0，或者是充分小的正数；

条件 2：博弈在任何一个重复阶段上结束的概率为 0，或者是充分小的正数；

条件 3：支付组合的元素是 n 维的，且严格帕累托优于一次性博弈的混合扩展（mixed extension）的最小最大（minimax）支付组合。

无名氏定理告诉我们：在无限次重复博弈中声称完美均衡导致了某一特定的行为是没有意义的。这一点对于任何一个满足条件 1～3 的博弈都是成立的，而不仅仅是对于囚徒困境博弈成立。如果博弈还要持续无限长的时间，那么即使惩罚在当前既损害了被惩罚的参与人，也损害了实施惩罚的参与人自己的利益，参与人也总能找到一个办法使他们愿意为了将来的收益而惩罚其他不合作的参与人。和未来无限长的时间相比，任何有限的时间段都是微不足道的，因此未来报复的威胁使参与人愿意实施所需的惩罚。

接下来我们讨论条件 1～3。

条件 1：贴现

对未来收入的贴现能否减弱最后一期的影响？无名氏定理帮助回答了这个问题。相反，如果存在着效用的贴现，参与人就会更看重选择坦白带来的当期收入，而更不看重合作带来的未来的收入。如果贴现率很高，博弈几乎就回到了一次性模型的情况。如果实际利率是 1 000%，那么明年的收入就只比 100 年以后的收入重要一点点，因此明年的收入就不会对博弈产生什么影响。任何一个结果依赖于博弈重复进行很多次的模型都要假设贴现率不是很高。

允许存在很小的贴现率对于证明在零贴现率处的连续性是很重要的。如果我们在没有贴现的无限次重复博弈中发现了多个均衡，无名氏定理告诉我们，贴现率的微小上升不会减少博弈均衡的数量。与之相对照的是，如果我们把无限次重复博弈改为重复次数很多的有限次重复博弈，这一变化将立即引起连锁店悖论，从而使博弈只剩下一个均衡。

零贴现率能够支持很多的完美均衡，但是，如果贴现率比较高的话，唯一的均衡结果就是参与人永远选择坦白。给定其他参数，我们可以计算出临界值。冷酷策略对偏离均衡的行为实施了尽可能严厉的惩罚。根据下一节表 5—2（a）给出的囚徒困境博弈的支付，我们得到冷酷策略的均衡支付为当期 132

的支付 5 与博弈其他各期的支付 $5/r$（根据表 4—2）之和，如果行偏离均衡选择了坦白，他在当期的支付为 10，但他在其他各期的支付均降为 0。我们可以从方程 $5+5/r=10+0$ 中解出贴现率的临界值 $r=1$，即贴现率为 100%或贴现因子$\delta=0.5$。除非参与人极其没有耐心，否则他们不会选择坦白。

条件 2：博弈结束的概率

时间偏好率的影响是显而易见的，但让人感到吃惊的是，如果我们假设博弈在每一期结束的概率为 θ，博弈的结果并不会受到很大的影响。实际上，只要 θ 的值不是很大，我们甚至可以允许 θ 随着时间的流逝而改变。如果 $\theta>0$，博弈在某个有限的时点上结束的概率为 1；或者说得更保守一些，博弈重复次数的预期值是有限的，但是无论博弈已经重复进行了多少次，由于预期的博弈未来重复的次数仍然很大，所以博弈仍然类似于一个有贴现的无限次重复博弈。现在博弈仍然没有最后一期，如果我们限定某个时点是博弈的最后一期，那么无论博弈还将重复进行多少次，博弈结果都会因此而有一个很剧烈的改变。

下面的两种情形是互不相同的。

（1）“博弈将在 T 以前的某个不确定的时点结束。”

（2）“博弈结束的概率为常数。”

在陈述（1）中，因为随着时间的流逝，博弈仍然持续下去的最大时间段逐渐接近于 0，因而博弈就类似于一个有限期博弈。在陈述（2）中，即使博弈在结束时的概率很大，但只要博弈确实持续进行到 T 期，T 期的博弈和 0 期的博弈看起来就是完全相同的。赞美诗《奇异恩典》（“Amazing Grace”）中的第 4 节非常巧妙地描写了这种不变性（尽管我认为赞美诗假设博弈结束的概率 $\theta=0$）。

当我正要掉进深渊
你却把我救出
你带给我新的生命
无论如何只要我肯相信
奇迹一定会在我的眼前出现

条件 3：维数

定理 5.1 中提到的“最小最大支付”指在所有其他参与人都各自选择惩罚参与人 i 的策略时，参与人 i 会尽可能地保护自己，以使自己得到最大支付。

$n-1$ 维**最小最大策略**（Minimax strategies）s_{-i}^{*}的集合是指无论参与人 i

采取什么反应，除参与人 i 以外的所有其他参与人都尽可能使参与人 i 的支付最低的策略集合。s_{-i}^{*} 由下式解出：

$$\underset{s_{-i}}{\text{Min}}\ \underset{s_i}{\text{Max}}\,\pi_i(s_i,\ s_{-i}) \tag{5.1}$$

参与人 i 的**最小最大支付**（minimax payoff）、**最小最大值**（minimax value）或**安全值**（security value）就是求解（5.1）式后得到的支付。

只有三个或三个以上参与人的博弈才需要满足维数条件。如果在博弈的 133
某些支付组合中，每个参与人的支付都大于他的最小最大支付，但不等于其他每一个参与人的支付，这时博弈就满足维数条件。图 5—1 画出了后面表 5—2（a）中两个参与人的囚徒困境博弈满足的维数条件，但是两个参与人的分级协调博弈并不满足维数条件。在 n 个参与人的囚徒困境博弈里，如果总是选择坦白的参与人得到的支付高于其他选择抵赖的参与人，维数条件就得到了满足；在 n 个参与人的分级协调博弈里，因为所有的参与人都得到相同的支付，所以博弈就不满足维数条件。为了促使所有参与人都选择那些大家希望采取的行动，就要有某些办法使得其他参与人能够惩罚偏离均衡的参与人而不损害他们自己的利益，因而维数条件是必需的。

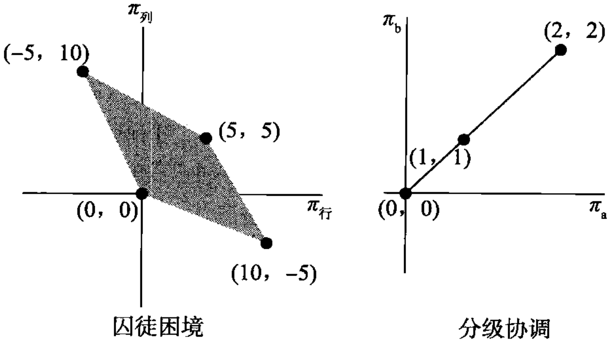


图 5—1　维数条件

无名氏定理中的条件 3 也可以表述如下：

条件 3′

重复博弈有一个令人满意的子博弈完美均衡，其中策略组合 $\bar{s}$ 使得参与人 i 在每一期执行同样的策略所得到的支付大于他在其他“惩罚”子博弈完美均衡中每一期采用的策略组合 $\underline{s}^i$ 所得到的支付，即

$$\exists\,\bar{s}:\ \forall i,\ \exists\,\underline{s}^i:\ \pi_i(\underline{s}^i) < \pi_i(\bar{s})$$

条件 3′是非常有用的，因为在某些时候它可以很容易地找到一些完美均衡。为了得到想要的行为模式，可以用满意均衡作为“胡萝卜”而用惩罚均衡作为自我激励的“大棒”（见 Rasmusen（1992a））。

最小最大和最大最小

在讨论导致合作的策略时，我们常常会遇到如何决定惩罚策略的最大严厉程度的问题。因此，最小最大策略的概念对这个问题是很有用的。最小最大策略指当违规者不在对他的惩罚中采取合作行为时，他可能得到的最严厉的制裁。相应地，违规者为了减少惩罚对自己的影响而采取的策略就是最大最小策略。

参与人 i 的**最大最小策略**（maximin strategy）s_i^* 是在其他参与人选择使
134 参与人 i 的支付尽可能低的策略时，参与人 i 使自己的支付最大化的策略。即 s_i^* 是下式的解：

$$\underset{s_i}{\text{Max}}\ \underset{s_{-i}}{\text{Min}}\ \pi_i(s_i,\ s_{-i}) \tag{5.2}$$

下面的公式以两个参与人的博弈为例，介绍了如何计算参与人 i 的最小最大策略和最大最小策略。这里参与人 i 就是参与人 1。

参与人 1 的最大最小策略：$\underset{s_1}{\text{Max}}\ \underset{s_2}{\text{Min}}\ \pi_1(s_1, s_2)$

参与人 2 的最小最大策略：$\underset{s_2}{\text{Min}}\ \underset{s_1}{\text{Max}}\ \pi_1(s_1, s_2)$

在囚徒困境里，参与人的最小最大策略和最大最小策略都是选择坦白。尽管社会福利博弈（表 3—1）只有一个混合策略纳什均衡，但如果我们只考虑纯策略的话（此处仅为了说明），那么乞讨者的最大最小策略就是找工作，这样他至少能够保证自己得到 1 的支付；他对于政府的最小最大策略是选择闲逛，这样政府的支付最高也不会超过 0。

在最小最大策略中，参与人 2 首先采取行动（至少选择一个混合概率），他完全出于恶意地试图使参与人 1 承受最大的痛苦。在最大最小策略中，参与人 1 认为参与人 2 将采取对他不利的行动，并首先采取行动。在非零和博弈中，虐待狂选择最小最大策略，妄想狂选择最大最小策略。在零和博弈中，参与人只是有些神经质：乐观主义者选择最小最大策略，悲观主义者选择最大最小策略。

最大最小策略不一定是唯一的，也可能是混合策略。因为最大最小行为也可以被理解为使可能承受的最大损失最小化，所以决策理论家很形象地把这种政策称为**最小最大标准**（minimax criterion）（Luce & Raiffa，1957，p. 279）。

以最大最小策略作为均衡概念的基础是一个很吸引人的主意。**最大最小均衡**（maximin equilibrium）是由每个参与人的最大最小策略构成的。因为这时每个参与人都保护自己，使自己不会受到可能的最严重的伤害，因而最大最小策略似乎是合理的。但是，对于一个理性的参与人来说，采取最大最小策略的理由并不是很充分。因为风险规避是对效用支付而言的，所以最大最小策略也并不简单地就是风险规避的参与人的最优选择。参与人隐含的信念和最大最小均衡可能不一致，如果最大最小行为是理性的，参与人必须相信，他的对手采取给他造成最大伤害的策略的出发点是出于恶意，而不是他自己的利益。

和定理 5.1 中的条件 3 一样，最大最小策略和最小最大策略的用途不是直接地预测参与人的最优策略，而是确定参与人的策略对他们的支付的影响程度的大小。

最大最小策略和最小最大策略并不总是纯策略，记住这一点是很重要的。我们用表 5—1 中的博弈来解释这一点（选自 Fudenberg & Tirole（1991a, p. 150））。在表 5—1 的博弈中，如果行选择下，那么他至少可以保证自己得到 0 的支付，因此选择下是他的最大最小策略。但是，如果列采取纯的最小最大策略，那么他不可能使行的支付降低为 0。如果列选择左，行可以选择中，从而得到 1 的支付；如果列选择右，行可以选择上，从而得到 1 的支付。但是，135 为了使行的支付降低为 0，列可以采取下面的混合最小最大策略（以 0.5 的概率选择左，以 0.5 的概率选择右）。这时行就会选择下，得到的最小最大支付为 0，而选择上和中或由上和中构成的混合策略给他带来的支付只有 $-0.5(=0.5\times(-2)+0.5\times 1)$。

列的最大最小策略也可以被计算出来。行对于列的最小最大策略为（以 0.5 的概率选择上，以 0.5 的概率选择中），列的最大最小策略是（以 0.5 的概率选择左，以 0.5 的概率选择右）。列的最小最大支付为 0。

表 5—1　　最小最大策略博弈

		列	
		左	右
行	上	−2, [2]	[1], −2
	中	[1], −2	−2, [2]
	下	0, [1]	0, [1]

支付：（行，列）。方框中代表最优反应。

在两人零和博弈中，如果参与人 1 降低了参与人 2 的支付，那么他就提高了自己的支付，所以最小最大策略和最大最小策略在两个参与人的零和博弈中的用处更多一些。此时参与人惩罚其他参与人就等于是在奖励自己，这

就是著名的**最小最大定理**（Minimax Theorem）的来源（von Neumann，1928）。最小最大定理说的是每一个有两个参与人的零和博弈都存在一个纯策略或混合策略的最小最大均衡，且博弈的最小最大均衡和最大最小均衡是相同的。遗憾的是，能够用博弈论来研究的博弈几乎都不是零和博弈，因此最小最大定理的用途很有限。

事先承诺

如果我们抛弃完美的概念而采用元策略（metastrategies），即允许参与人在开始时就对博弈的其余部分作出承诺，那么情况会发生什么变化呢？为了使博弈仍然是非合作的，我们将有约束力的承诺排除在外，但我们可以假设博弈中的参与人同时采取行动或依次采取行动。

允许承诺就是允许均衡是非完美的，我们已经在前面证明了这时唯一的纳什均衡就是总是选择坦白。因此，如果参与人能够同时选择承诺策略，那么有限次重复的囚徒困境博弈的均衡就是总是选择坦白。

如果参与人依次选择承诺策略，那么博弈的结果可能会有所不同。博弈的结果取决于各个参数的具体数值，但是下面的策略是一个可能的均衡：行首先采取行动，他选择的策略为（如果列选择抵赖，那么他也选择抵赖；一旦列选择坦白，那么他就永远选择坦白）；列的策略为（在最后一期以前的各期都选择抵赖，在最后一期选择坦白）。这时我们观察到的博弈结果是，两个参与人在最后一期以前的各期都选择抵赖，行在最后一期仍然选择抵赖，但列在最后一期选择坦白。行将会接受这个均衡，因为如果他选择一个更早开始选择坦白的策略，那么列也会选择一个更早就开始选择坦白的策略。这个博弈具有后动优势。

5.3 声誉：单边囚徒困境博弈

136 本书的第二部分将分析道德风险和逆向选择问题。在道德风险中，参与人希望付出高努力，但是他不能可信地做到这一点。在逆向选择中，参与人想证明他是高能力的，但是他无法做到这一点。这两种情况的共同问题是对说谎的惩罚不够严厉。声誉可能是解决这一问题的办法。如果博弈重复进行很多次，参与人可能就会为了得到一个将来对他有价值的诚实的声誉而在博弈的早期阶段选择合作。

声誉的作用和可信的惩罚威胁的作用是类似的。惩罚通常既损害被惩罚者的利益，也损害惩罚者的利益，因而惩罚者可能就会对过去的事情不予追

究。为了使瑞士当局允许其发行一笔双边互惠的债券，苏联在 1988 年向瑞士偿还了一笔 70 年前的债务（“Soviets Agree To Pay Off Czarist Debt to Switzerland,” *Wall Street Journal*, January 19, 1988, p. 60)。为什么瑞士要对苏联采取这样的行动？

为什么参与人进行惩罚而且不作弊？这个问题和重复进行的囚徒困境博弈中的问题实际上是一样的。在重复进行的囚徒困境博弈里，只有博弈将重复进行无限次时，参与人才会选择合作。这是声誉的一个大问题。因为每个人都知道一个参与人将在最后一期选择坦白、低努力或赖账，那么为什么他们要假设这个参与人会在目前建立起自己的声誉呢？为什么过去的行为会对未来的行为产生影响呢？

并非所有的声誉问题都和囚徒困境完全相同，但是它们有很多相同之处。在某些博弈中，每个参与人的策略集合都是相同的，参与人的支付是对称的，我们称这类博弈为双边博弈，例如双寡头垄断博弈和原始的囚徒困境博弈。此外还有一类单边囚徒困境博弈，例如下面的产品质量博弈。这类博弈和囚徒困境博弈很相似，但是和囚徒困境博弈不同的是，这类博弈是非对称的。表 5—2 画出了原始的囚徒困境博弈和单边囚徒困境的标准表述。[1]这两个博弈的一个重要区别是，在单边囚徒困境博弈里，至少有一个参与人严格地偏好（抵赖，抵赖），即表 5—2（b）中的（高质量，购买）。这个参与人只是为了维护自己的利益才选择坦白，而不是既为了维护自己的利益，也为了攫取更多的利益而选择坦白。我们可以把（0，0）支付理解为一个参与人拒绝和其他参与人打交道。例如，一个乘客拒绝购买克莱斯勒公司的汽车，因为他知道克莱斯勒公司有一次曾经在汽车里程表上作弊。表 5—3 列出了单边博弈和双边博弈的例子。

表 5—2　　　　囚徒困境博弈 137

(a) 双边的（常见的）

		列		
		抵赖		坦白
	抵赖	5，5	→	−5，10
行		↓		↓
	坦白	10，−5	→	**0，0**

支付：(行，列)。箭头表示参与人如何增加支付。

(b) 单边的

		消费者（列）		
		购买		抵制
	高质量	5，5	←	0，0
卖方（行）		↓		↕
	低质量	10，−5	→	**0，0**

支付：(卖方，消费者)。箭头表示参与人如何增加支付。

单边囚徒困境博弈中的纳什均衡和重复剔除的优势策略均衡仍然是（坦白，坦白），但（坦白，坦白）不是这个博弈的优势策略均衡。如果行选择抵赖，那么列为了得到 5 的支付也会选择抵赖；但是如果行选择坦白，那么列为了得到 0 的支付也会选择坦白，所以在这个博弈中列没有优势策略。但是，选择坦白是列的弱优势策略，因而（坦白，坦白）是重复剔除的优势策略均衡。在上面的两个博弈中，参与人都努力使其他参与人相信他们会选择合作行为，而且能够在单边博弈中导致合作的策略通常也会在双边博弈中取得同样的效果。

表 5—3　　声誉起重要作用时的重复博弈

应用	单边/双边	参与人	行动
囚徒困境	双边	行	抵赖/坦白
		列	抵赖/坦白
双寡头垄断	双边	企业	高价格/低价格
		企业	高价格/低价格
就业	双边	雇主	发奖金/不发奖金
		雇员	工作/偷懒
产品质量	单边	消费者	购买/抵制
		卖者	高质量/低质量
进入威慑	单边	在位者	低价格/高价格
		进入者	进入/不进入
财务披露	单边	公司	说真话/说谎
		投资者	投资/不投资
借贷	单边	贷款人	借出/不借
		借款人	还债/赖账

5.4　无限次重复博弈的产品质量模型

无名氏定理告诉我们：一个无限次重复博弈——有时被称为**无限期模型**（infinite horizon model）——的某个完美均衡能够产生在有限次重复博弈中观察到的任何行为模式。但是，因为无名氏定理只是一个数学推理的结论，所以它产生某些特定行为模式的策略可能是不合理的。无名氏定理的价值是使经济学家对无限期模型进行详细考察，并促使建模者证明为什么这个均衡就比其他的均衡更好。他必须超越完美性的技术要求，而以其他理由来证明策略的合理性。

在简单的产品质量模型中，卖者选择生产高成本的高质量产品还是生产低成本的低质量产品；买者不能在他购买产品之前确定产品的质量。如果卖者在对称信息下生产高质量的产品，那么这个博弈就是和表 5—2（b）一样的单边囚徒困境。当卖者生产高质量的产品，且消费者购买产品时，两个参与人的福利都增加了。但是，卖者的弱优势策略是生产低质量的产品，因而消费者就不会购买产品。这个博弈也是道德风险的一个例子，我们将在第 7 章详细地讨论道德风险的问题。 *138*

一个潜在的解决办法是使博弈重复进行很多次，允许企业在博弈的每一期选择产品质量。但是，因为连锁店悖论的影响，如果博弈的重复次数是有限的，那么博弈的结果仍然和前面是一样的。在博弈的最后一期的子博弈和一次性博弈是相同的，因此企业就会选择生产低质量的产品。在博弈的倒数第二期，因为参与人预期到最后一期的结果和他现在选择的行动无关，所以企业就选择生产低质量的产品。同样的论证过程可以依此类推到第一期。

如果博弈重复进行无限次，那么连锁店悖论就不适用了。根据无名氏定理，我们可以在均衡中观察到很多个不同的结果。克莱因和莱弗勒（Klein & Leffler，1981）为无限次重复博弈构造了一个可能的均衡。他们的原始论文是传统的 UCLA 式的文字表述，而没有用博弈论来表达他们的成果，但在这里我用博弈论把他们的理论模型化了（这里的模型化工作是由拉斯穆森（Rasmusen，1989b）完成的）。在均衡中，企业愿意生产高质量的产品，这样它可以在很多时期里以较高的价格销售产品；只要某个企业曾经生产过一次低质量的产品，消费者就永远都不会再购买这个企业的产品。均衡价格相当高，使得企业不愿意为了发一笔横财而损失未来长久的利润，因而企业不会生产低质量的产品再以高价销售。尽管这只是众多完美子博弈均衡中的一个，但这个均衡中的消费者行为是简单和理性的：没有消费者能够通过偏离均衡来提高自己的收益。

产品质量博弈

参与人

无限多的潜在企业和连续的消费者。

博弈顺序

（1）企业进入市场的成本为 F，企业数量 n 由进入成本 F 内生决定。

（2）进入市场的企业选择生产高质量的产品还是低质量的产品。生产高质量的产品的边际成本为不变的常数 c，生产低质量的产品的边际成本为零。消费者无法观察到企业的选择。企业还选择价格 p。

(3) 消费者决定从哪个企业购买商品（如果消费者购买的话）。如果消费者对企业是无差异的，那么就随机地选择从哪个企业购买商品。我们用 q_i 表示消费者从企业 i 购买的产品数量。

(4) 所有的消费者都观察到这一期购买的所有产品的质量。

(5) 博弈回到 (2)，重复进行。

支付

消费者从低质量产品上得到的支付为 0。但是，如果消费者认为产品是高质量的，那么消费者将购买 $q(p) = \sum_{i=1}^{n} q_i$ 单位的产品，其中 $dq/dp < 0$。

如果企业不进入市场，则其支付为 0。

如果企业 i 进入市场，它必须承担进入成本 F，因而企业 i 刚进入市场时的支付为 $-F$。如果企业生产低质量的产品，则它在这一期期末的支付为 $q_i p$；如果企业生产高质量的产品，则它在这一期期末的支付为 $q_i(p-c)$。贴现率为 $r>0$。

139 企业生产低质量产品的边际成本为零是不现实的，但是我们为了简单起见而采用这个假设。我们把低质量产品的边际成本规范化为零，这样就可以在分析过程中减少一个变量的同时得到相同的结论。

无名氏定理告诉我们这个博弈有很多完美均衡，包括一些像（高质量，高质量，低质量，高质量，低质量，…）这样很古怪的质量模式。如果我们只考察市场中所有企业都选择相同的行为和产品质量的稳态结果的纯策略均衡，那么博弈就只有低质量和高质量这两种结果。因为低质量是一次性博弈的均衡，所以低质量总是可以成为这个产品质量博弈的均衡结果。如果贴现率足够低，高质量也可能是一个均衡结果，我们将侧重讨论这种情形。考虑下面的策略组合：

企业：$\tilde{n}$ 个企业进入市场。每个企业都生产高质量的产品，并以 $\tilde{p}$ 的价格销售产品。如果企业偏离了这一状态，那么它以后就生产低质量产品（并仍然以同样的价格 $\tilde{p}$ 销售）。$\tilde{p}$ 和 $\tilde{n}$ 的值由下面的 (5.4) 式和 (5.8) 式决定。

买者：买者开始时在要价为 $\tilde{p}$ 的企业中随机选择卖者。如果企业的价格和产量没有变化，消费者仍然从以前的企业那里购买产品。如果企业的价格和产量发生了变化，消费者就转向那些没有改变价格和产量的企业，从这些企业中随机选择自己的新供货商。

这个策略组合是一个完美均衡。每个企业都愿意生产高质量的产品，避免降价，否则它们就会失去所有的顾客。如果企业已经偏离了上面的行动，那么它就只愿意生产低质量的产品，因为反正现在也没有顾客，质量高低已经不重要了。如果企业曾经生产过低质量的产品，那么消费者就再也不会从这个企业购买产品了，因为消费者知道这个企业将会继续生产低质量的产品。如果企业降低了产品的价格，那么消费者同样也不会再从这个企业购买产品，因为他们知道这个企业的产品一定是低质量的。但是，如果上面的均衡能够成立，还要满足下面三个条件：激励相容约束、竞争和市场出清。我们将在7.3节中详细地讨论这三个条件。

激励相容（incentive compatibility）约束指单个企业一定愿意生产高质量的产品，而不是低质量的产品。给定买者的策略，如果企业生产了低质量的产品，那么它在当期就得到比较高的收入，但是损失以后各期的利润。约束（5.3）刻画了当期收入和未来各期收入的替代关系。如果贴现率足够低，约束（5.3）就能满足。

$$\frac{q_i p}{1+r} \leqslant \frac{q_i(p-c)}{r}\text{（激励相容约束）} \tag{5.3}$$

不等式（5.3）决定价格的下限，价格必须满足

$$\tilde{p} \geqslant (1+r)c \tag{5.4}$$

因为任何一个定价超过能够保证质量的价格 $\tilde{p}$ 的企业都会失去所有的顾客，所以条件（5.4）取等号。

第二个约束是竞争使利润为0，因此企业对进入市场和不进入市场是无差异的。

$$\frac{q_i(p-c)}{r} = F\text{（竞争）} \tag{5.5}$$

将（5.3）式取等式，并用它来消掉（5.5）式中的 p，就得到

$$q_i = \frac{F}{c} \tag{5.6}$$

我们已经求出了 p 和 q_i，接下来就要求进入市场的企业数量 n，进入市场的企业数量是由供求关系决定的。在不对称信息的模型里，市场并不总是出清的（见 Stiglitz（1987））。在这个模型里，每个企业都想在均衡价格卖出比均衡产量更多的产品，但是行业的总产量必须等于行业的总需求。 *140*

$$nq_i = q(p)\text{（市场出清）} \tag{5.7}$$

联立 (5.3)、(5.6) 和 (5.7) 式，得到

$$\tilde{n}=\frac{cq\ [(1+r)c]}{F} \tag{5.8}$$

至此我们已经求出了各个相关变量在均衡状态下的值，现在均衡存在性的唯一问题就是企业的个数必须是整数（参见章末注 N5.4）。

外生的进入成本 F 和不是完全无弹性的需求使进入市场的企业数量受到了一定的限制，因而均衡价格是固定的。如果没有进入成本，但需求仍然是有弹性的，那么均衡价格 p 仍然由 (5.3) 式唯一地决定，市场总需求仍然由 $q(p)$ 决定，但这时 F 和 q_i 就无法确定了。如果消费者认为任何一个可能生产高质量产品的企业都要支付一个外生的耗费成本 F，那么博弈的结果就是一个连续的均衡。企业的最优策略是 $\tilde{n}$ 个企业支付进入成本 F，并以 $\tilde{p}$ 生产高质量的产品，其中 $\tilde{n}$ 的值作为进入成本 F 的函数由零利润条件决定。克莱因和莱弗勒注意到了博弈结果的不确定性，他们还指出，企业的利润可能花费在某种品牌专用的资本上了。行业的历史也可能影响进入市场的企业数量。施马伦希 (Schmalensee, 1982) 证明，因为消费者不愿意调查新品牌产品的质量，所以先建立起来的品牌就能够占领较大的市场份额。

产品质量声誉的重复博弈模型也可以用来描述其他一些声誉问题。在克莱因和莱弗勒 (Klein & Leffler, 1981) 之前，1980 年特尔瑟就将其文章命名为《自我强制合约理论》（"A Theory of Self-Enforcing Agreements"），并观察到在很多情形下，重复博弈使得由欺骗获得的短期收益更稳定，而由协作得到的长期收益则不具备这一特点。对于这一思想，我们将在本书后面的 8.1 节中看到，它将作为"效率工资"的一部分出现。

然而，请记住，"声誉"可以通过两种截然不同的方式建模。在我们这里的模型中，由于"道德风险"模型关注的是参与人行动的选择，因此，一个声誉好的厂商一定会生产高质量的产品，以避免失去好的信誉。另一种模型是"逆向选择"模型，由于该模型关注的是参与人的类型，因此拥有好声誉的厂商是那些已经证明自己不会生产低质量的产品，并且即使在没有逆向结果的情况下也不会生产低质量产品的厂商。声誉的一种类型是参与人自己选择好与坏，另一种类型是自然选择参与人的好与坏。正如我们将要看到的，第 6 章中的"四人帮"模型就是这两种类型的混合。

*5.5 消费者转换成本博弈中的马尔可夫均衡和交迭世代

141 下面的模型将向读者介绍一个应用很广的建模技术，即**迭代模型** (over lapping generation model)。迭代模型使原本同质的参与人有了前后交迭的生

命周期，并提出了一个新的均衡概念——"马尔可夫均衡"。迭代模型最著名的例子是萨缪尔森（Samuelson，1958）的原创性的消费—信贷模型。迭代模型在宏观经济学中用得最多，但在微观经济学中也有一些应用。克伦佩雷尔（Klemperer，1987）曾指出，消费者在从一个卖者转向另一个卖者时要承担一定的成本。这里使用的模型是由法雷尔和夏皮罗（Farrel & Shapiro，1988）构造的。

消费者转换成本博弈

参与人

两个企业：Apex 公司和 Brydox 公司。一系列的消费者，每个消费者开始时是年轻人，然后是老年人。

博弈顺序

（1a）Brydox 公司是开始时的在位者企业，选择在位者价格 p_1^i。

（1b）Apex 公司是开始时的进入者企业，选择进入者价格 p_1^e。

（1c）老年人选择一个企业。

（1d）年轻人选择一个企业。

（1e）吸引了年轻人的那个企业成为在位者企业。

（1f）老年人去世，年轻人变成老年人。

（2a）博弈回到（1a）重新开始，这时两个企业的在位者和进入者的身份可能已经改变了。

支付

贴现率为 δ。消费者的保留价格为 R，转换成本为 c。对于 $j=(i, e)$，在位者企业或进入者企业在 t 期的当期支付分别为：

$$\pi_{企业j}=\begin{cases}0\text{，如果没有吸引顾客}\\ p_t^j\text{，如果吸引到了一个顾客}\\ 2p_t^j\text{，如果吸引到了两个顾客}\end{cases}$$

$$\pi_{老年人}=\begin{cases}R-p_t^j\text{，如果他从在位者企业购买}\\ R-p_t^e-c\text{，如果他从进入者企业购买}\end{cases}$$

$$\pi_{年轻人}=\begin{cases}R-p_t^j\text{，如果他从在位者企业购买}\\ R-p_t^e\text{，如果他从进入者企业购买}\end{cases}$$

要找出这个无限次重复博弈的所有完美均衡是困难的，因此我们采取法雷尔和夏皮罗的办法，只找出完美的马尔可夫均衡。马尔可夫均衡是唯一的，因而找出完美的马尔可夫均衡是一个容易得多的任务。

142 **马尔可夫策略**（Markov strategy）指参与人在每个节点上的行动只取决于上一期的行动，而与博弈的历史无关的策略（或行动，如果它们同时进行的话）。

在这里，一个企业的马尔可夫策略是以这个企业上一期是在位者还是进入者作为价格函数的自变量，而不是以博弈的全部历史作为博弈的自变量。

马尔可夫策略有两种使用方法：第一种方法是寻找由马尔可夫策略构成的均衡，第二种方法是排除所有的非马尔可夫策略，再寻找博弈的均衡。因为第一种方法允许非马尔可夫策略的存在，所以在这时的均衡状态下，没有参与人想偏离现在的状态而采取其他的策略，无论它们是不是马尔可夫策略。这种方法不考虑参与人采取非马尔可夫策略的情况，从而消除了可能存在的多重均衡。第二种方法要求参与人即使在其他非马尔可夫策略是最优策略的情况下，也一定要采取马尔可夫策略，因而这种方法更加不可靠。**完美马尔可夫均衡**（perfect Markov equilibrium）采取的是第一种方法：这个完美均衡碰巧只使用马尔可夫策略。

Brydox 公司作为开始时的在位者企业先采取行动，它会选择足够低的价格 p^i，以致 Apex 公司不会为了吸引老年人而选择 $p^e < p^i - c$。如果 Apex 公司选择的价格是 $p^e = p^i$，那么它的顾客就只有年轻人，利润为 p^i；如果 A-pex 公司选择的价格是 $p^e = p^i - c$，那么它的顾客就既有年轻人也有老年人，利润为 $2(p^i - c)$。Brydox 公司将选择 p^i 以使 Apex 公司对上面的两种选择是无差异的，所以有

$$p^i = 2(p^i - c) \tag{5.9}$$

和

$$p^i = p^e = 2c \tag{5.10}$$

在均衡中，Brydox 公司和 Apex 公司轮流充当在位者企业，并且制定同样的价格。

因为博弈将永远持续下去，且均衡策略是马尔可夫策略，所以我们可以用动态规划的技巧来计算在位者企业和进入者企业的支付。进入者企业在当期的均衡支付是当期的支付 p^e 加上下一期作为在位者企业的支付的贴现值：

$$\pi_e^* = p^e + \delta\pi_i^* \tag{5.11}$$

进入者企业的支付可以类似地表示成当期的支付 p^i 加上下一期作为进入者企业的支付的贴现值：

$$\pi_i^* = p^i + \delta\pi_e^* \tag{5.12}$$

我们用（5.10）式替换掉 p^e 和 p^i，这样在（5.11）式和（5.12）式中就只有 π_i^* 和 π_e^* 这两个未知数了。但是还有一个更简单的计算支付的方法：在均衡状态下，在位者企业和进入者企业以相同价格卖出同样多的产品，因此 $\pi_i^* = \pi_e^*$，所以（5.12）式变成

$$\pi_i^* = 2c + \delta\pi_i^* \tag{5.13}$$

由此可得

$$\pi_i^* = \pi_e^* = \frac{2c}{1-\delta} \tag{5.14}$$

因为转换成本给予了在位者企业更大的市场力量，阻止两个企业进行伯 143
特兰式的普通竞争（我们将在 13.2 节分析伯特兰式的普通竞争），所以价格和总支付随着转换成本 c 的上升而提高。随着 δ 趋近于 1，未来的支付的价值也提高了，因此总支付随着贴现率 δ 的上升而提高。

*5.6 进化均衡：鹰鸽博弈

在这本书的大部分内容里，我们一直在使用基于信息和顺序的纳什均衡以及它的精炼概念，但是在生物学中这种概念经常是不合适的。低级动物不太可能像人类一样在博弈的每一个阶段都思考对手的策略。它们的策略更像是预先规定好的，而且它们的策略集也比一个商人所面临的要小，就算不比他的顾客的小许多的话。另外，行为的进化和任何均衡都必须考虑偶然的变异所导致的怪异行为。那种认为均衡是参与人的共识，或参与人不能事先承诺遵守其策略的假设就合适了。因此，纳什均衡和序贯理性的思想就不像在分析理性参与人时的博弈论中那么有用了。

博弈论在生物学中也是有一定重要性的，但其风格与在经济学中的不同。这里的目的不是解释在给定的情况下参与人是如何理性地行动的，而是解释在外生的冲击下，行为是如何演化或者保持一段时间的。两种方法都将均衡确定为某种最优反应的策略组合，但生物学家更关心均衡的稳定性，以及各策略之间是如何相互作用的。在 3.5 节，我们粗浅地提到了古诺均衡的稳定性问题，但经济学家将稳定性看做均衡的一个令人满意的副产品而不是一个条件。对于生物学家，稳定性是分析的关键。

让我们来看一个成对竞争的博弈，博弈中的两个参与人是一模一样的。在这种特殊情况下，把一个均衡看做一个策略组合是有用的，这个策略组合使得没有一个参与人能以新的策略组合进入环境（**入侵**（invade））而又得到

比原来的参与人更高的期望支付。而且，入侵的策略会很管用，即使它会以一定的概率不利于它本身，或者它的入侵永远都不会变得举足轻重。在生物学中最普通的模型里，所有的参与人在均衡时都采取相同的策略，即“进化上的稳定策略”（evolutionarily stable strategy，ESS）。约翰·梅纳德·史密斯最早提出了这个概念，它有些令人迷惑，因为事实上它是一个均衡概念，均衡概念是关于策略组合的而不仅仅是关于一个参与人的策略的。但是，在相互作用和参与人都一样的博弈中，进化上的稳定策略可以用于定义一个均衡概念。

以 s_{-i} 表示参与人 i 的对手的策略，以 $\pi(s_i, s_{-i})$ 表示参与人 i 的支付。一个策略 s^* 是一个**进化上的稳定策略**，如果对于任何其他策略 s'，要么有

$$\pi(s^*, s^*) > \pi(s', s^*) \tag{5.15}$$

要么有

$$\text{(a) } \pi(s^*, s^*) = \pi(s', s^*) \text{ 和 (b) } \pi(s^*, s') > \pi(s', s') \tag{5.16}$$

144 如果条件（5.15）成立，那么一群采用 s^* 的参与人不可能被一个采用 s' 的异类侵犯。如果条件（5.16）成立，那么 s' 就可以比 s^* 好，但糟糕的是会与它本身冲突，这样，如果不止一人试图使用 s' 去侵犯使用 s^* 的参与人，那么侵犯者将会失败。

我们可以用纳什均衡的概念来理解 ESS。条件（5.15）说明 s^* 是强纳什均衡（虽然并不是每一个强纳什均衡策略都是 ESS）。条件（5.16）说明如果 s^* 是唯一的弱纳什均衡策略，则 s' 不是对它自己最佳的反应。ESS 是对纳什均衡的一个优化，但是，几点要求缩小了它的范围。ESS 不仅必须是一个最佳反应，而且还必须符合以下两点要求：（a）是所有策略中支付最高的（这一点剔除了不对称支付的均衡）；（b）是对于自身的最佳反应。

在这两个均衡概念背后隐藏的动机是不一样的，但是其相似点是很有用的，因为即使建模者更喜欢 ESS 而不是纳什均衡，他还是可以从纳什策略出发去寻找 ESS。

作为（a）的例子，我们考虑性别战博弈。其中，混合策略均衡是 ESS，因为应用该混合策略均衡的参与人就可以得到和其他任何参与人同样高的支付。但是，两个纯策略均衡不是 ESS，因为在每个纯策略均衡中，一个参与人的支付都会高于另一个参与人。与分级协调（ranked coordination）进行比较，在队列协调中，两个纯策略均衡以及混合策略均衡都是 ESS。（但主均衡策略不是 ESS，因为在给定其他参与人应用这个策略的情况下，就不会有参与人再出轨去这样做了。）

作为（b）的例子，考虑表 5—4 中的乌托邦交换经济博弈，该博弈是吉

蒂斯（Gintis，2000）中问题 7.5 的一个应用。在乌托邦中，每个市民可以独立生产 1 或 2 个单位的产出。之后他将进入市场并遇到另一个市民。如果他们中的任意一个人只生产了 1 个单位，则通过交换不会增加他们的支付。但如果他们两个都生产了 2 个单位，他们可以交换 1 个单位，此时两个人都会因为得到了更多种类的消费品而更加满足。

表 5—4　　　　乌托邦交换经济博弈

		琼斯		
		低产出		高产出
	低产出	**1，1**	↔	1，1
史密斯		↕		↓
	高产出	1，1	→	**2，2**

支付：（史密斯，琼斯）。箭头表示参与人如何增加支付。

这个博弈有三个纳什均衡，其中一个是混合策略。由于除了高产出外其他的策略都是弱支配的，所以只有高产出是 ESS。低产出不满足（5.16）式中的条件（b），因为其对自身而言这不是最佳反应。如果经济始于所有市民都选择低产出，那么，如果史密斯脱离出来选择了高产出，对他而言也不会有任何改进；但如果有两个人脱离出来选择了高产出，他们就可以期望获得更多，因为他们可能会见面并获得（2，2）的支付。

ESS 的一个例子：鹰鸽博弈

说明 ESS 的最好的例子是鹰鸽博弈。设想我们有一群鸟，每只鸟都可能是凶
猛的老鹰或温和的鸽子。我们只着重讨论两只随机抽出的鸟：鸟 1 和鸟 2。每只 145
鸟都选择当遇上另一只鸟时它将采用什么行动。当两只鸟相遇时，有价值 $V=2$
“健康单位”的资源面临争夺。如果它们都争夺，失败者的成本是 $C=4$，这意
味着当两只鹰相遇时，它们各自的期望支付是 $-1(=0.5\times2+0.5\times(-4))$；当
两只鸽子相遇时，它们平分资源，每只得到支付 1；当一只老鹰与一只鸽子相遇
时，鸽子逃跑得到支付 0，让老鹰得到支付 2。表 5—5 总结了这个博弈。

表 5—5　　　　鹰鸽博弈：经济学表示法

		鸟 2		
		老鹰		鸽子
	老鹰	−1，−1	→	**2，0**
鸟 1		↓		↑
	鸽子	**0，2**	←	1，1

支付：（鸟 1，鸟 2）。箭头表示参与人如何增加支付。

在生物博弈中，经常不这样表述支付。因为两个参与人是一模一样的，

所以可以用只标出行上的参与人的支付的矩阵来描述支付。将这一方法用于鹰鸽博弈就得到表 5—6。

表 5—6　　　　　　　　　　鹰鸽博弈：生物学表示法

		鸟 2	
		老鹰	鸽子
鸟 1	老鹰	−1	2
	鸽子	0	1

支付：（鸟 1）。

鹰鸽博弈只不过是斗鸡博弈的变种。比较表 5—5 和表 3—2 可以看出，这两个博弈有相同的序数等级支付，而且除了混合策略的参数外，两者的均衡相同。鹰鸽博弈不存在对称的纯策略纳什均衡，因此没有纯策略 ESS，因为在这两个不对称纳什均衡中老鹰的支付比鸽子的高，鸽子就会从鸟群中消失。在这个博弈的 ESS 中，不论是老鹰还是鸽子都不能完全占有整个环境。如果鸟群中只有老鹰，与两只老鹰博弈将得到支付−1 相比，一只鸽子入侵与老鹰博弈将得到一次性支付 0；与两只鸽子博弈将获得支付 1 相比，一只老鹰入侵与鸽子对抗将得到支付 2。

在混合策略 ESS 里，均衡策略是以 0.5 的概率扮作老鹰，以 0.5 的概率扮作鸽子，这也可以理解为有 50%的鸟是老鹰，50%的鸟是鸽子。与第 3 章中的混合策略均衡一样，参与人对每个纯策略都是无差异的。扮作老鹰的预期收入是遇上鸽子时的支付 0.5×2 加上遇上另一只老鹰时的支付 0.5×(−1)，结果是 0.5。扮作鸽子的预期收入是遇上另一只鸽子时的支付 0.5×1 加上遇上老鹰时的支付 0.5×0，结果还是 0.5。而且，这个均衡与古诺均衡
146 有类似的稳定性。如果有 60%的鸟是老鹰，那么一只鸟扮作鸽子将会有更高的健康水平。如果“更高的健康水平”意味着繁殖更快，那么鸽子的数量将会增加，最终达到 50%。

ESS 取决于参与人被允许的策略集。如果两只鸟能够将它们的行为建立在共同可观察到的随机事件上，例如哪一只鸟最先到达资源，且 $V<C$（正如上面所假设的），那么梅纳德·史密斯和帕克（Maynard Smith & Parker, 1972）所称的**自由民策略**（bourgeois strategy）是一个 ESS。在这个策略上，鸟像一个良好的自由民一样尊重物权，这里我们假设到达顺序是随机的。自由民策略在遭遇到同类时的预期支付为 1；在遇到一个忽略到达顺序的策略时，它像一个产生 50∶50 概率的随机发生器那样行动，所以它能够成功地侵入一个全部是 50∶50 随机发生器的鸟群。但是，自由民策略是一种相关策略

(见 3.3 节)，并且要求诸如到达顺序这样的事情去决定两个一样的参与人中的哪一个会扮作老鹰。

ESS 适用于所有参与人都是相同的且成对地相互作用的博弈。它不适用于参与人不相同的博弈——像可以扮作狡猾或宽宏大量的狼和可以扮作快速或强壮的鹿的博弈——尽管可以建立起别的有着相同意味的均衡概念。方法分三步：(1) 确定开始时的群体中的比例和相互作用的可能性；(2) 成对的相互作用；(3) 有较高支付的参与人在群体中的数量将会增加的机制。经济学上的博弈通常只使用第二步，就是只描述一次相互作用中的策略和支付。

第三步，进化的动力学，对经济学而言是不相干的。在说明进化动力时，建模者必须具体写出差分方程（对离散时间）或微分方程（对连续时间），以描述重复后的策略是如何变化的，如是因为参与人的后代数量不同，还是因为他们学会了随着时间的流逝而改变自己的策略。在经济学博弈中，调节的过程通常被省略了：参与人立即就跳到均衡上去了。在生物博弈中，调节过程要慢一些，而且不能从理论中得出。老鹰相对于鸽子增加得有多快依赖于鸟的新陈代谢和生育一代的时间长度。

慢的动态过程使博弈的出发点很重要，不像在调整可以瞬间完成时发生的情况。图 5—2 选自 D. 弗里德曼（D. Friedman，1991），说明了一种可以用图描述博弈中的进化的方法。这个博弈运用了三个策略：老鹰、鸽子和自由民策略。三角形上的点代表了三种策略在鸟群中的比例。比如，在点 E_3，一半的鸟扮作老鹰，另一半扮作鸽子，没有自由民；而在点 E_4，所有的鸟都扮作自由民。

图 5—2 显示了在弗里德曼给出的一个表征策略比例的变化率的函数的基础上得到的动态过程。点 E_1、E_2、E_3 和 E_4 都是不动点，因为无论从哪一点开始博弈都不改变这些比例。但是，只有点 E_4 代表了一个进化上的稳定均衡，而且如果博弈以任意正的比例的鸟扮作自由民开始，那么最后比例会趋向 E_4，原来没有自由民策略的鹰鸽博弈可以被看做三角形的底边 HD，E_3 在这个博弈中是在进化上稳定的。

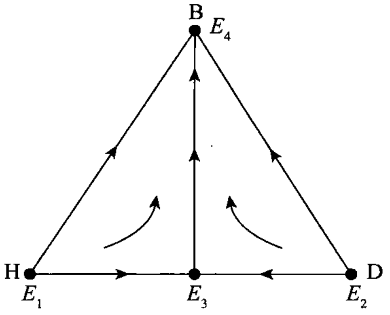


图 5—2 老鹰—鸽子—自由民博弈的进化动态过程

图 5—2 还说明了生物博弈中变异的重要性。如果这群鸟百分之百是鸽子，如在点 E_2，那么就不会有变异发生，因为如果一开始就没有老鹰，那么它们将比鸽子繁殖得快这一事实在这里是无关紧要的。但是如果一只鸟能够
147 变异而扮作老鹰，并且将这种行为遗传给它的后代，那么最后会有一些鸟这样行动，变异策略就成功了。变异的技术对于最后的均衡是非常重要的。在比鹰鸽博弈更复杂的博弈中，变异是否恰好很小，偶然变到了和现行策略相似的策略上；或者变异能否有任意的大小，都是重要的问题，这样就可能有一个与现存策略完全不同的更优策略出现。

变异的思想不同于进化动力学的思想，两者可以相互独立。在经济学的模型中，变异会表现为博弈的一个参与人的行动集中出现了一个新的行动。这是对创新进行模型化的一种方法：不是把它当做产生随机发明的研究活动，而是当做一种偶然的学习。建模者应该明确规定，新发现的行动是以进化动力学的方式慢慢地变成参与人可达到的行为，还是像经济学方法所假设的那样一蹴而就。后者在经济学中有前途，但是因为动力学和变异技术非常重要，因此就有可能存在简单地复制模型而得不到可靠结果的危险，除非建模者将自己放入一个很窄的范围内，并且把他采用的技术建立在实证研究的基础上。

注

N5.1 有限期重复博弈和连锁店悖论

- 连锁店悖论不像进入威慑博弈和囚徒困境博弈那样能够很简洁地适用于所有的博弈。如果一次性博弈只有一个纳什均衡，那么相应地，有限次重复博弈的完美均衡是唯一的，且博弈的结果和一次性博弈的结果相同。但是，如果一次性博弈有多个纳什均衡，那么不仅一次性博弈的纳什均衡是有限次重复博弈的完美均衡，还有一些其他结果也可能是有限次重复博弈的完美均衡。参见 Benoit & Krishna（1985），Harrington（1987）和 Moreaux（1985）。
- 英文中的 tit-for-tat（针锋相对）是由约翰·海伍德（John Heywood）引进的一个外来词，来自法语中的“tant pour tant”。
- 对博弈策略空间作一些符合现实的扩展可能会消除连锁店悖论问题。例如，赫什莱弗和拉斯穆森（Hirshleifer & Rasmuson，1989）曾经证明：即使在有多个参与人的有限次重复博弈中存在着对于参与人数量
148 的规模经济，允许参与人驱逐违规者也会产生合作行为。
- 在泽尔腾（Selten，1978）以前，很早就有学者注意到重复囚徒困境博

弈只有唯一的纳什均衡是很少见的情况（见 Luce & Raiffa（1957，p. 99））。但是“连锁店悖论”这个词还是很广泛地用在所有这些博弈上。

- 一个 **ε 均衡**（epsilon-equilibrium）指的是一个策略组合 s^*，在该策略组合下，给定其他的参与人不偏离现在的策略，则所有参与人偏离目前的策略的激励都小于 ε，正式地，

$$\forall i, \pi_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq \pi_i(s'_i, s_{-i}^*) - \varepsilon, \quad \forall s'_i \in S_i \tag{5.17}$$

拉德纳（Radner，1980）已经证明了，有限次重复囚徒困境博弈的均衡会产生合作行为。弗登伯格和莱文（Fudenberg & Levine，1986）比较了有限次重复博弈的均衡和无限次重复博弈的纳什均衡。除了纳什均衡以外，其他的一些概念也可以使用均衡的思想。

- 判断一个数学结果是不是由无限性所导致的一个较一般的方法是看当有限次重复博弈的重复次数趋近于无限时，博弈能否得到与无限次重复博弈相同的结果。如果要从无限次重复博弈的多个均衡中挑选出一个均衡，一个比较好的标准是看这个均衡是不是有限次重复博弈的重复次数趋近于无限时的博弈结果。弗登伯格和莱文（Fudenberg & Levine，1986）证明了在哪些条件下可以通过这个方法找出无限期模型的均衡。对于囚徒困境而言，（总是选择坦白）是所有有限次重复囚徒困境博弈的唯一均衡，因此只有它能够满足这个标准。

- 在定义无限次重复博弈的支付时，我们会遇到下面的问题：如果每一期的支付都是正的，那么总支付就是一个无穷大量。我们可以用下面的方法来比较两个无穷大量：

（1）**赶超标准**（overtaking criterion）。支付流 π 优于 $\tilde{\pi}$，如果存在着某个时点 T^*，对于所有的 $T \geq T^*$，都有

$$\sum_{t=1}^{T} \delta^t \pi_t > \sum_{t=1}^{T} \delta^t \tilde{\pi}_t$$

（2）在贴现率严格大于 0 的情况下比较现值 π 和 $\tilde{\pi}$。因为距离现在时间越长的支付的价值越低，所以，除非支付的增长速度高于贴现率，否则支付的贴现值就是有限值。等价地，考虑**平均折现支付**（average discounted payoffs），定义为 $\rho/(1+\rho)$ 乘以总支付。当支付是 x/ρ 时，因为 x 是永续的，平均折现支付为

$$\left(\frac{\rho}{1+\rho}\right)\left(\frac{x}{\rho}\right) = \frac{x}{1+\rho}$$

（3）用每一期的平均支付比较 π 和 $\bar{\pi}$。因为博弈要重复进行无限次，所以这个方法要对某些变量取极限。

无论上面哪一种方法，博弈学家都假设支付函数对时间是**加性可分离**（additively separable）的，这就意味着总支付是建立在各期支付的总和或平均值（可能是贴现值）的基础上的。宏观经济学家对这个假设感到不安，例如，这个假设排除了参与人在某一期的支付无法维持起码生存条件的情况。我们在第 14 章讨论耐用品垄断时还会遇到这个问题。

- 博弈以 1 的概率在有限期内结束意味着当时间趋于无穷大时，博弈在时间 t 以前结束的概率无穷地趋近于 1；博弈永远持续进行下去的概率为 0。同样地，博弈的结束时间的期望是一个有限值，如果博弈永远持续进行下去的概率为正，那么博弈的结束时间的期望就不可能是一个有限值。

N5.2 无限期重复博弈、最小最大惩罚和无名氏定理

149
- 有关无名氏定理的内容可以参见 Aumann（1981），Fudenberg & Maskin（1986），Fudenberg & Tirole（1991a，pp. 152－162）和 Rasmusen（1992a）。无名氏定理最常见的形式是，如果条件 1 至条件 3 都满足，那么，

  对于一个 n 个参与人的有限行动集合的一次性博弈，任何一个严格地帕累托优于其混合扩展的最小最大支付组合的支付组合都是无限次重复博弈的某些完美均衡的平均支付。

- 我们也可以用进化的方法来研究重复进行的囚徒困境博弈。博伊德和洛伯鲍姆（Boyd & Lorberbaum，1987）证明：对于种群数量互动的囚徒困境博弈而言，没有一个纯策略（包括针锋相对策略）是进化上的稳定均衡。J. 赫什莱弗和马丁内兹-科尔（J. Hirshleifer & Martinez-Coll，1988）发现，针锋相对策略不再是进化的囚徒困境博弈的 ESS 的一部分，如果下面的条件成立的话：（1）更复杂的策略有更高的计算成本；（2）有时其他参与人会将抵赖误看成坦白。生物学家发现动物也会采取针锋相对策略，例如，米林斯基（Milinski，1987）研究发现，其他鱼类在探测到肉食鱼类时，会主动选择是否逃离。
- **触发策略**（trigger strategies）或触发价格策略是重复博弈中很重要的一种策略。假设一个垄断寡头面临着不确定的市场需求（见 Stigler（1964））。这个寡头无法确定他观察到的低市场需求是由自然因素，还

是由其他寡头的降价行为造成的。下面的两种情况会使这个寡头也采取降价行动以报复其他寡头，一种情况是需求在一段时期内持续很低，第二种情况是需求在某个时期特别的低。要找出最优的触发策略是一件很困难的事（见 Porter（1983a））。除非博弈是无限次重复博弈，否则触发策略通常不是完美子博弈策略；如果博弈是无限次重复博弈，则触发策略是均衡策略的一个子集。最近的一些研究工作仔细地分析了什么样的触发策略是无限次重复博弈的可能的最优策略；参见 Abreu，Pearce & Staccheti（1990）。很多学者研究了当参与人可以非完美地观察到其他参与人的行动时将会出现何种结果。这方面的研究参见 Kandori（2002）。

有关触发策略的实证研究可以参见以下著作：波特（Porter，1983b）考察了19世纪铁路公司之间的价格战；斯莱德（Slade，1987）认为温哥华的加油站之间的价格战是对小的偏离行为实施轻微的惩罚，而不是对大的偏离行为实施严厉的惩罚。

- 布兰查德（Blanchard，1979）曾经运用宏观经济学的技术讨论了无限次重复博弈和以正的概率结束的博弈之间的相同点，他还讨论了投机泡沫的问题。
- 在重复进行的囚徒困境博弈中，如果博弈结束时间为无穷的概率为正，且只有一个参与人知道这一点，那么博弈有可能出现合作行为，其原因和6.4节中的“四人帮”定理相似。
- 任何一个一次性博弈的纳什均衡也是相应的有限次或无限次重复博弈的完美均衡。
- 当其中的一个参与人很长寿，而其他的参与人按年龄顺序出现时会发生什么情况？参见 Fudenberg & Tirole（1989）。

N5.3 声誉：单边囚徒困境博弈

- 没有贴现的无限次重复博弈被称为**超博弈**（supergame）。“超博弈”和“子博弈”两个名称之间没有什么联系。
- “单边”囚徒困境博弈和“双边”囚徒困境博弈是本书作者的发明。但 150
是根据1.2节的章末注，只有双边囚徒困境博弈才是真正的囚徒困境博弈。
- 关于声誉的实证研究非常少，值得一提的是，加雷尔和佩兹曼（Jarrell & Peltzman，1985）发现回收产品引起的成本远远超过了回收过程中可衡量的直接成本。麦考利（Macauly，1963）调查了实际的商业过

程，他注意到声誉的作用比写在商业合同中的细节要重要得多。麦考利的研究成果被广泛地引用，但类似的研究却很少。

- **复仇和感恩（Vengeance and gratitude）**。大多数模型都把这些感情因素排除在外（Hirshleifer（1987）是一个例外），我们可以用下面两种方法把它们模型化：

  （1）参与人当期从选择坦白或抵赖中得到的效用取决于其他参与人过去的行动；

  （2）参与人当期的效用取决于当期的行动组合和其他参与人的当期效用，一个参与人的当期效用和其他参与人的当期效用之间的关系取决于其他参与人过去选择的行动。

  这两种方法的含义有着微妙的区别。在第一种方法中，复仇的快感来自选择坦白的行动。在第二种方法中，复仇的快感来自其他参与人的失败。特别是，如果参与人的支付函数不同，这两种方法将导致不同的结果。

N5.4 无限次重复博弈的产品质量模型

- 我们也可以把产品质量博弈看成是有道德风险的委托—代理模型（参见第 7 章）。卖者（代理人）的行动是选择质量，买者（委托人）观察不到卖者的选择，买者的支付因此而受到影响。斯蒂格利茨（Stiglitz，1987）就用委托—代理关系来理解质量和价格之间的联系。

  克莱因-莱弗勒（Klein & Leffler）产品质量模型背后的经济原理与夏皮罗和斯蒂格利茨（Shapiro & Stiglitz，1984）用来解释高工资的非自愿失业模型（8.1 节）很相似。消费者在观察到企业制定了较低价格后，意识到这样的企业只会生产低质量产品，以得到短期利润。如果企业要得到较高的利润率，就必须持续地生产高质量的产品。
- 夏皮罗（Shapiro，1983）的一篇论文和克莱因-莱弗勒（Klein & Leffler，1981）的模型有关，他把高价格和自由进入市场结合起来，企业在开始阶段选择低于成本的价格，以建立起声誉。例如，如果消费者认为任何在前五个时期里制定了高价格的企业都会生产低质量的产品，任何在第五个时期以后制定了高价格的企业都生产高质量的产品，那么企业就会采取相应的行动，从而证实消费者的信念。信念是自我证实的并不意味着这些信念是非理性的，而只说明在很多不同均衡中的很多不同的信念都是理性的。
- 只有在进入成本 F 恰好使（5.8）式中的 n 为整数时，产品质量模型才

存在均衡。我们可以使用任何一个常用的解决整数问题的假设：允许潜在的卖者随机地选择进入还是不进入；假设出于历史的原因已经有 n 个企业进入了市场；或者假设企业是连续的，固定成本在进入市场的企业中服从均匀分布。

N5.5 消费者转换成本博弈中的马尔可夫均衡和交迭世代

● 我们假设在位者企业先选择价格，但是即使我们作了相反的假设，在位者企业的问题仍然存在。比较自然的假设是参与人同时选择价格，但因为支付函数是不连续的，所以这个子博弈没有纯策略均衡。 151

N5.6 进化均衡：鹰鸽博弈

● Dugakin & Reeve（1998）包含了一系列关于博弈论在生物学中不同方面应用的论文。道金斯（Dawkins，1989）用语言描述了进化冲突。阿克塞尔罗德和汉密尔顿（Axelrod & Hamilton，1981）描述了囚徒困境在生物学中的应用，海因斯（Hines，1987）作了综述，梅纳德·史密斯的著作（Maynard Smith，1982）是一本很有价值的参考书。杰克·赫什莱弗（Jack Hirshleifer，1982）比较了经济学家和生物学家的研究方法。博伊德和里彻森（Boyd & Richerson，1985）应用进化博弈论研究了文化传播，这与纯遗传传播有非常大的不同。

习 题

5.1 交迭世代（中等难度）（参见 Samuelson（1958））

假设在较长的一个时期里存在着一系列的参与人。每个在 t 期出生的参与人生活在 t 期和 $t+1$ 期这两期里。因此，在任何一期都有两个参与人：一个年轻人和一个老年人。每个参与人出生时的禀赋为 1 个单位的巧克力，且巧克力不能储存到下一期。参与人的效用水平对巧克力的消费是递增的，如果参与人在某一期的巧克力消费少于 0.3 个单位，那么这个参与人将会很不愉快，即单期的效用函数是 $U(C)=-1$，如果 $C<0.3$；$U(C)=C$，如果 $C\geqslant 0.3$，其中 C 为巧克力的消费量。参与人可以把巧克力扔掉或送人，但是因为参与人都只有巧克力，所以他们不能把巧克力卖给其他参与人。参与人的行动是消费 X 单位的巧克力，把 $1-X$ 单位的巧克力送给老年人。

(a) 如果参与人的代数是有限的，这个博弈唯一的纳什均衡是什么？

(b) 如果参与人的代数无穷多，请找出这个博弈的两个帕累托完美均衡。

（c）如果在每一期期末（此时消费已经完成了），野蛮人入侵并偷走全部巧克力的概率为 θ（这时无论文明人消费了多少单位的巧克力，文明人的支付都是－1），要使某个均衡状态的结果为 $X=0.5$，θ 的最大值可以是多少？

5.2 有法律诉讼的产品质量博弈（中等难度）

现在我们对 5.4 节的产品质量博弈作一下修改。假设如果卖者没有准确描述产品的质量，那么他就会受到消费者的集体诉讼，并为每单位卖出的产品支付 x 的赔偿，其中 $x\in(0, c]$。因此，卖者在销售产品时可能会承担 x 的损失。

（a）把 $\tilde{p}$ 写成 x、F、c 和 r 的函数。现在的 $\tilde{p}$ 是不是大于 $x=0$ 时的 $\tilde{p}$？

（b）每个企业的均衡产量是多少？现在的均衡产量是不是大于 $x=0$ 时的均衡产量？

（c）进入市场的企业的均衡数量是多少？现在的均衡企业数量是不是大于 $x=0$ 时的均衡企业数量？

（d）如果企业不是为每单位产品支付 x 的赔偿，而是花 X 请一个律师来成功地帮助企业赢得诉讼，这时的激励相容约束是什么？

5.3 重复博弈（难）（参见 Benoit & Krishna（1985））

152 参与人贝诺伊特和克里希纳在有贴现的情况下把下面的博弈重复进行三次：

表 5—7　　贝诺伊特-克里希纳博弈

		克里希纳		
		抵赖	胡扯	坦白
贝诺伊特	抵赖	10，10	－1，－12	－1，15
	胡扯	－12，－1	8，8	－1，－1
	坦白	15，－1	－1，－1	0，0

支付：（贝诺伊特，克里希纳）。

（a）为什么这个博弈没有参与人在三期都选择抵赖的均衡？

（b）描述一个两个参与人在前两期都选择抵赖的完美均衡。

（c）如果这个博弈重复两期，请找出两个参与人在前两个时期都选择抵赖的均衡。

（d）如果这个博弈重复 T 期，请找出两个参与人在前两个时期都选择抵赖的均衡。

（e）假设这个博弈重复三期，如果两个参与人在前两个时期都选择抵赖

的均衡成立，那么贴现率最大不能超过多少？

5.4　重复进行的进入威慑博弈（中等难度）

假设进入威慑博弈Ⅰ在贴现率很小的情况下重复进行有限次，参与人在每一期开始时得到支付。进入者在每一期选择进入还是不进入。即使他在上一期已经进入了市场，他在这一期仍然要选择进入还是不进入。

（a）请找出进入者每一期都进入的完美均衡。

（b）为什么（不进入，斗争）不是一个完美均衡？

（c）请找出进入者从不进入的完美均衡。

（d）如果（c）中的均衡成立，那么贴现率最大不能超过多少？

5.5　重复进行的囚徒困境博弈（中等难度）

令表1—9中的一般囚徒困境博弈里的 $P=0$，假设 $2R>S+T$。

（a）证明两个参与人都采取冷酷策略是无限次重复囚徒困境博弈的完美均衡。如果冷酷策略是博弈的均衡，那么贴现率最大不能超过多少？

（b）证明在没有贴现的情况下，针锋相对策略不是无限次重复囚徒困境博弈的完美均衡。

5.6　进化上的稳定策略（中等难度）

一些学者在午餐时间就关于谈论话题是选择足球还是经济开展协调博弈。记 $N_t(F)$ 和 $N_t(E)$ 分别为在时期 t 愿意谈论足球和经济的人数，记 θ 为愿意谈论足球的人数的比率，则有 $\theta=N(\text{足球})/(N(\text{足球})+N(\text{经济}))$。政府规定，基于今年的管理改革，午餐时间约定的谈论话题应该保持 $\theta=0.5$，$N_t(F)=5\ 000$ 和 $N_t(F)=5\ 000$。以后可能会有些人决定回家吃午餐，或者改 153
变他们愿意谈论的话题。表5—8给出了支付。

表5—8　　进化上的稳定策略

		学者2	
		足球(θ)	经济($1-\theta$)
学者1	足球(θ)	1，1	0，0
	经济($1-\theta$)	0，0	5，5

支付：（学者1，学者2）。

（a）存在三个纳什均衡：（足球，足球）、（经济，经济）以及混合策略均

衡。进化稳定策略是什么？

（b）记 $N_t(s)$ 为时期 t 采取特别策略的学者人数，记 $\pi_t(s)$ 为支付。推导马尔可夫差分方程来表述从时期 t 到时期 $N_{t+1}(s)=f(N_t(s),\pi_t(s))$ 的人数的动态变化。假定系统从总人数 100 000 开始，其中一半人谈论足球，另一半人谈论经济。应用你的动态方程完成表 5—9。

表 5—9　　谈话动态

t	$N_t(F)$	$N_t(E)$	θ	$\pi_t(F)$	$\pi_t(E)$
−1	50 000	50 000	0.5	0.5	2.5
0					
1					
2					

（c）应用非马尔可夫动态重复进行（b），其中 $N_{t+1}(s)=f(N_t(s),\pi_t(s),\pi_{t-1}(s))$。

5.7　抓钱博弈（中等难度）

表 5—10 给出了同时行动的抓钱博弈的支付。在史密斯和琼斯两人之间的桌面上放了一枚银币。抓到银币的人将拥有银币并获得支付 4。如果两个人都去抓，则谁都无法得到，并且每个人都会觉得丢脸。如果没有人，则每个人都获得一些奖励。

表 5—10　　抓钱博弈

		琼斯	
		抓(θ)	等待($1-\theta$)
史密斯	抓(θ)	−1，−1	4，0
	等待($1-\theta$)	0，4	1，1

支付：（史密斯，琼斯）。

（a）进化上的稳定策略是什么？

（b）假定人群中的每个参与人都处在连续过程的一点上，起始的参与人

154 数量为 1，均匀地分为抓和等待。令 $N_t(s)$ 是在 t 时刻采取特别策略的参与人数量全体，$\pi_t(s)$ 是支付。记人数动态为

$$N_{t+1}(i)=(2N_t(i))\left[\frac{\pi_t(i)}{\sum_j \pi_t(j)}\right]$$

完成表 5—11。

表 5—11　　抓钱博弈动态

t	N_t(抓)	N_t(等待)	N_t(总和)	θ	π_t(抓)	π_t(等待)
0	0.5	0.5	1	0.5	1.5	0.5
1						
2						

(c) 应用如下动态重复进行 (b)，

$$N_{t+1}(s)=\left[1+\frac{\pi_t(s)}{\sum_j \pi_t(j)}\right][2N_t(s)]$$

(d) 到目前为止本书中出现的哪三个博弈与抓钱博弈类似？

5.8　最小最大博弈（容易）

表 5—12 给出了同时行动混合最小最大博弈的支付。记 θ 为在混合中行选择向北的概率，γ 为列选择向西的概率，支付为（行，列）。

表 5—12　　混合最小最大博弈

		列	
		向西(γ)	向东($1-\gamma$)
行	向北(θ)	1，1	0，−2
	向南($1-\theta$)	−2，0	1，1

(a) 三个纳什均衡分别是什么？

(b) 在三个纳什均衡中，列的支付是什么？

(c) 如果两个人都约束到纯策略情况下，列对于行的最小最大策略是什么？此时行的最小最大支付是多少？

(d) 如果允许采用混合策略，列对于行的最小最大策略是什么？行的最小最大支付是多少？

(e) 如果两个人都约束到纯策略情况下，行对于列的最大最小策略是什么？行的最大最小支付是多少？

(f) 如果允许采用混合策略，行的最大最小策略是什么？行的最大最小支付是多少？

重复囚徒困境：第 5 章的课堂博弈

考虑如下通过对表 1—2 在每个支付上添加 8 而得到的囚徒困境（见

155

表 5—13）：

表 5—13 **囚徒困境**

		列	
		抵赖	坦白
行	抵赖	7，7	—2，8
	坦白	8，—2	0，0

支付：（行，列）。

每组学生重复进行 10 次这个博弈。目标是找到一个尽可能高的非贴现综合支付（并不仅仅是为了得到一个高于班里其他同学的支付总和）。

【注释】

[1] 这里的具体支付数值和表 1—1 中的囚徒困境不同，但是支付数值之间的大小排序关系是一样的。表 5—2 把（坦白，坦白）的支付规范化为 0，这样大多数支付的数值就是正的而不是负的，因此表 5—2 中的支付数字更常用。

第 6 章
不完全信息动态博弈

6.1 完美贝叶斯均衡：进入威慑博弈Ⅱ、Ⅲ

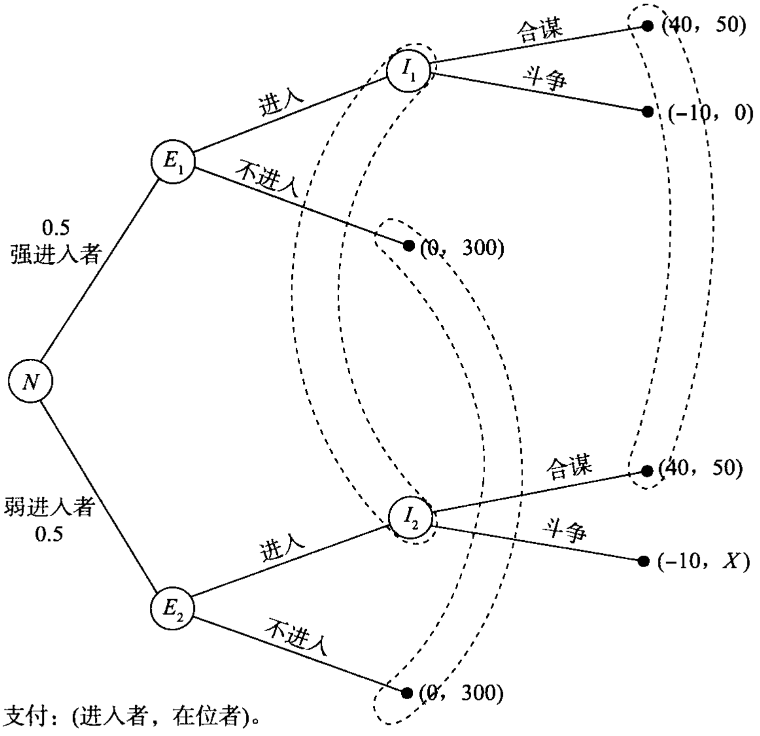
不对称信息，特别是不完全信息在博弈论里是非常重要的，对于动态博弈来 156
说尤其如此。当参与人依次采取若干行动时，前面的行动能够向其他参与人传递相关的私人信息，这就会影响后面的参与人的决策。显示信息和隐藏信息是很多策略行为的基础，能够在很大程度上帮助解释为什么参与人会选择这些行动。如果不从策略的角度来考察这些行动，参与人的选择似乎就是非理性的。

第 4 章已经证明：为了作出可信的预测，即使在对称信息的动态博弈中，我们也要用子博弈均衡的概念对纳什均衡进行精炼。对不对称信息博弈的均衡进行精炼需要考虑沉没成本和可置信威胁的影响，因而与对称信息博弈均衡的精炼有所不同。6.1 节介绍了对均衡进行精炼的标准方法：完美贝叶斯均衡。6.2 节证明了完美贝叶斯均衡仍然不能保证均衡的唯一性，并在非均衡路径的信念的基础上进一步讨论了对均衡的精炼。6.3 节利用精炼的思想证明了参与人的信息贫乏可能对他是有好处的，还解释了为什么在所有参与人都知道某些信息的情况下，缺乏共同知识仍然会对博弈产生影响。6.4 节把不完全信息引入了重复进行的囚徒困境博弈，并以第 5 章的连锁店悖论为例证明了“四人帮”定理。6.5 节介绍了著名的阿克塞尔罗德竞赛，这是一个实验性地解决连锁店悖论的方法。6.6 节通过戴蒙德模型（Diamond，1989）将不完全信息动态博弈的思想应用于信用演变问题。

子博弈完美是不够的

在不对称信息博弈中，我们要求均衡是子博弈完美的。但是，因为信息是不对称的，参与人不知道博弈位于博弈树的哪个节点上，所以博弈树的节
157 点可能和参与人的决策无关。史密斯知道琼斯的生产成本的高低决定了他位于两个不同节点中的某一个节点上，但是史密斯不知道自己到底在哪一个节点上，因而从每一个节点开始的子博弈和他的决策无关。实际上，因为从每一个节点开始的子博弈分割了史密斯的信息集，所以它们甚至不是我们所定义的子博弈。我们以不对称信息下的进入威慑博弈Ⅰ（4.2 节）为例来说明这一点。在进入威慑Ⅰ中，一旦进入者进入了市场，在位者选择斗争的收益小于选择合作的收益，所以在位者将会与进入者合作。我们假设某些进入者是强者，而另外一些进入者是弱者，在位者和强进入者斗争的收益小于和弱进入者斗争的收益。和以前一样，在位者从（斗争｜强进入者）的行动中得到的收益为 0，但他从（斗争｜弱进入者）的行动中得到的收益为 X，其中 X 的取值在不同类型的博弈中位于 0（进入威慑Ⅰ）～300（进入威慑Ⅳ和进入威慑Ⅴ）之间。

图 6—1 给出了进入威慑Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ的扩展式表述。在进入威慑Ⅰ中，在



支付：(进入者，在位者)。

图 6—1　进入威慑Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ

位者选择斗争得到的支付为 X 而不是 0 的概率为 50%，但是在位者不知道博弈实现的结果将会是哪个支付。这一点被模型化为自然的初始选择，自然选择进入者是弱者还是强者，而在位者观察不到自然的选择。

进入威慑Ⅱ：斗争永远无利可图

在进入威慑Ⅱ中，X 的取值为 1，因而信息不对称不是很严重。尽管在位者选择斗争得到的支付可能是 0，也可能是 1，但“在位者不会因选择斗争而得利”是参与人的共同知识。因为这里唯一的子博弈是从节点 N 开始的子博 158
弈，也就是整个博弈本身，所以子博弈完美在这里不能排除任何纳什均衡，这一点与进入威慑Ⅰ是不同的。因为 E_1 和 E_2 都不是信息分割中单独的点，所以子博弈不能从点 E_1 或 E_2 开始。因此，我们无法用某种技术排除不合理的纳什均衡（不进入，斗争）。

我们需要对均衡概念进行精炼，以排除不合理的纳什均衡。我们可以采取两种一般的方法对均衡概念进行精炼，第一种方法将小幅度的“颤抖”(tremble) 引入博弈。第二种方法要求参与人的策略是在给定的理性信念下的最优反应。我们可以由第一种方法得到“颤抖的手完美”均衡，由第二种方法得到“完美贝叶斯”或“序贯”均衡。无论采取哪种方法，得到的博弈结果都是类似的。

颤抖的手完美

“颤抖的手完美”是由泽尔腾（Selten，1975）提出的一个均衡概念。根据这个概念，即使其他参与人以较小的概率采取均衡路径以外的行动，构成均衡的策略仍然必须是参与人的最优反应（也就是说，其他参与人的手会“颤抖”）。

有限行动集合博弈的颤抖的手完美均衡的定义如下：

策略组合 s^* 是一个**颤抖的手完美**（trembling-hand perfect）均衡，如果对于任意的 ε，存在着一个位于 $[0, 1]$ 区间上的正数向量 δ_1，…，δ_n 和一个完全混合策略向量 σ_1，…，σ_n，使得每一个策略都被策略 $(1-\delta_i)s_i+\delta_i\sigma_i$ 所取代的新博弈有一个纳什均衡，且该纳什均衡中的每一个策略和 s^* 的距离都小于 ε。

每一个颤抖的手完美均衡都是完美子博弈均衡，实际上我们在 4.1 节就已经用颤抖的手的方法证明了均衡的子博弈完美性。遗憾的是，判断策略组合是否满足颤抖的手完美是很困难的。因为连续变量的混合策略难以处理，所以连续策略空间的博弈的颤抖的手完美均衡没有定义（参见章末注 N3.1）。

另外，颤抖的手完美均衡取决于参与人选择哪一种颤抖，而判断为什么这种颤抖比其他颤抖更容易出现可能也是一件困难的事。

完美贝叶斯均衡和序贯均衡

第二种处理不对称信息的方法是由克雷普斯和威尔逊（Kreps and Wilson，1982b）根据海萨尼（Harsanyi，1967）的思想提出来的，这种方法从对所有参与人都一样的先验信念入手解决不对称信息的问题。先验信念确定了自然在博弈开始的时候选择参与人的类型的概率。一些参与人观察到了自然的行动，并据此修正了他们的先验信念。其他一些参与人观察不到自然的行动，只能观察那些有私人信息的参与人的行动，由此推断自然的行动，然后根据这些推断来修正自己的信念。

参与人用来修正信念的推断的基础是均衡策略所确定的那些行动。当参与人修正他们的信念时，他们假设其他参与人也采取了相应的均衡策略。但是，因为策略本身依赖于参与人的信念，所以现在不能只用策略来定义均衡了。在不对称信息下，均衡是一个策略组合和一个信念集合，这个信念集合使得参与人的策略是他们在博弈中的最优反应。

159 在均衡路径上，参与人修正信念所需要的是他们的先验概率和贝叶斯法则，但在非均衡路径上，这是不够的。假设进入者在均衡路径上总是选择进入。如果由于某种原因，不可能的事情发生了，进入者没有进入市场，那么在位者会对“进入者是弱者”的概率有什么想法呢？在这里贝叶斯法则不能给在位者任何帮助，因为当 Prob(data) = 0 时（这里 data 是不会在均衡路径上出现的“进入”），我们无法利用贝叶斯法则来计算后验信念。由 2.4 节可知：

$$\text{Prob}(\text{弱进入者} \mid \text{进入}) = \frac{\text{Prob}(\text{进入} \mid \text{弱进入者})\ \text{Prob}(\text{弱进入者})}{\text{Prob}(\text{进入})} \tag{6.1}$$

因为（6.1）式的分母为 0，所以后验概率 Prob（弱进入者｜不进入）没有定义（当分子为 0 时也是一样的，见章末注 N6.1）。

博弈均衡的一个比较自然的定义如下：给定服从贝叶斯法则的均衡信念，均衡的策略组合由参与人的最优策略组成；非均衡路径上的信念服从某个特定的模式，这个模式与贝叶斯法则并不矛盾。

一个**完美贝叶斯均衡**（perfect Baysian equilibrium）是一个策略组合 s 和一组信念 μ，使得在博弈的每一个节点上，都有：

（1）给定其他参与人的信念和策略，博弈剩余部分的策略是纳什均衡策略。

（2）给定博弈到目前为止的历史，参与人在每一个信息集上的信念都是理性的（这意味着参与人假设他们处于均衡路径上，只要有可能，参与人就根据观察到的行动，通过贝叶斯法则来修正后验概率）。

完美贝叶斯均衡都是子博弈完美的（条件（1）保证了这一点），每一个颤抖的手均衡都是一个完美贝叶斯均衡。

回到进入威慑Ⅱ

根据完美贝叶斯均衡的概念，我们可以找到进入威慑Ⅱ的一个序贯均衡。

进入者：进入｜弱进入者，进入｜强进入者。

在位者：合作。

信念：Prob(强进入者｜不进入)＝0.4。

在这个均衡里，无论进入者是弱者还是强者，进入者都会选择进入。在位者的策略是选择合作，因为在位者观察不到自然的选择，这个策略不依赖于自然的行动。因为无论自然的选择是什么，进入者都要进入市场，如果在位者观察到了进入者不进入，那么他就必须界定非均衡路径上的信念。这个信念可以任意选择，这里的信念是：如果进入者偏离上面的策略，选择了不进入，那么在位者认为“进入者是强者”的主观概率为0.4。给定这个策略组合和非均衡路径上的信念，两个参与人都没有激励改变自己的策略。

如果进入者选择不进入，则没有完美贝叶斯均衡。即使在可能的最乐观的信念下，即在位者的信念为进入者以1的概率是一个弱者，选择斗争也是一个糟糕的反应。值得注意的是，和完美子博弈均衡一样，完美贝叶斯均衡不是从博弈的结构，而是从参与人的最优反应来定义的。我们希望通过对均衡的精炼来把握某些经济直觉，这种定义均衡的方法使我们能够更好地把握这些经济直觉。 160

和寻找纳什均衡一样，寻找一个博弈的完美贝叶斯均衡也是一件需要开动脑筋的事情。各种算法在这里都帮不上什么忙。要找出博弈的纳什均衡，建模者要先分析这种博弈，挑选出可能的策略组合，再检验参与人的策略是不是对其他参与人策略的最优反应。如果要使这个均衡成为一个完美贝叶斯均衡，他就要找出那些参与人不会在均衡路径上采取的行动，确定参与人理解这些行动的信念。接下来，他还要检验给定参与人在每一个节点上的信念，参与人的策略是不是他们的最优反应，特别地，他还要检验参与人会不会为了使其他参与人转向非均衡路径的策略和信念而自己先采取非均衡路径上的行动。因为在这个过程中参与人不能选择自己的信念，所以没有必要检验参与人的信念是不是对他自己有利；博弈中的先验概率和非均衡路径上的信念

是由建模者外生确定的。

读者可能会问：在进入威慑Ⅱ中，为什么一定要确定参与人的信念呢？博弈树不是已经确定了进入者是弱者的概率了吗？进入者不进入市场会对博弈产生什么影响？确实，自然以 0.5 的概率选择进入者是强者还是弱者，因此，如果参与人没有除此之外的其他信息，他的信念就是先验概率——自然以 0.5 的概率选择进入者是强者还是弱者。但是，进入者的行动可能会传递其他额外信息。完美贝叶斯均衡的概念允许建模者自由地确定参与人如何根据其他额外信息来形成自己的信念，只要这些信念与贝叶斯法则不矛盾即可（但是，和任何一个愚蠢的假设一样，技术上可以被选择的信念也有可能会受到其他学者的批评）。在这里，上面的均衡表明：如果进入者不进入市场，那么在位者认为进入者是强者的概率为 0.4，是弱者的概率为 0.6。信念是任意选择的，但它和贝叶斯法则是不矛盾的。

在进入威慑Ⅱ中，非均衡路径上的信念不会也不应该对博弈产生影响。如果进入者选择了不进入，博弈就此结束，在位者的信念与博弈结果无关。现在我们只是从一个技术问题出发，将完美贝叶斯均衡作为一个方法引进来。但是，在下一节里，非均衡路径上的信念会对哪一个策略组合将成为博弈的均衡产生至关重要的影响。

6.2 完美贝叶斯均衡的再精炼：进入威慑和博士录取博弈

进入威慑Ⅲ：有些时候选择斗争是有利可图的

在进入威慑Ⅲ中，我们假设 $X=60$，而不是 $X=1$。这意味着如果进入者是弱者，那么在位者选择斗争的收益高于选择合作的收益。和以前一样，进入者知道自己是不是弱者，但是在位者不知道进入者是不是弱者。如果在位者观察到了非均衡路径上的行动，一个比较方便的信念形成方法是仍然保留原来的先验信念，这个博弈里的先验信念是 Prob（强进入者）＝0.5。这种信念形成方法称为**消极推测**（passive conjecture）。下面是一个使用消极推测的完美贝叶斯均衡。

161 进入威慑Ⅲ的一个合理的混同均衡：

进入者：进入｜弱进入者，进入｜强进入者。
在位者：合作。
非均衡路径上的信念：Prob（强进入者｜不进入）＝0.5。

在选择是否进入市场时，进入者必须对在位者的行为作出预测。如果进

入者是弱者的概率为 0.5，那么在位者选择斗争的预期支付为 30(=0.5×0+0.5×60)，低于选择合作的支付 50。因为在位者将选择合作，所以进入者会进入市场。进入者可能知道在位者的支付实际上是 60，但这不会影响在位者的行为。

在上面的均衡里，非均衡路径上的信念并不重要，但是，非均衡路径上的信念在其他均衡里可能很重要。尽管完美贝叶斯均衡中的信念必须服从贝叶斯法则，但这对参与人如何理解非均衡路径上的行动没有什么限制。非均衡路径上的行动是不可能出现的，所以如果这些行动确实出现了，参与人并没有什么很有效的应对方法。但是，某些信念可能比其他信念更合理，例如，进入威慑Ⅲ还有如下一个均衡，这个均衡需要非均衡路径上的不合理信念的支持。

进入威慑Ⅲ的一个不合理的混同均衡：

进入者：不进入 | 弱进入者，不进入 | 强进入者。
在位者：斗争。
非均衡路径上的信念：Prob（强进入者 | 进入）=0.1。

如果进入者偏离上面的策略，选择了进入，在位者选择合作的支付为 50，选择斗争的预期支付为 54(=0.1×0+0.9×60)。所以，在位者将会选择斗争，而进入者将不会进入市场。因此上面的策略和信念是一个均衡。

但是，这个不合理的均衡里的信念不同于其他一些信念。为什么在位者会相信弱进入者错误地进入市场的概率比强进入者错误地进入市场的概率高出 9 倍呢？这个信念不违反贝叶斯法则，但是也没有什么根据。

信念的合理性是很重要的，因为如果在位者使用消极推测的话，不合理的均衡就会崩溃。当在位者使用消极推测时，因为选择斗争的预期支付为 50，他就会转而采取选择合作的策略。不合理的均衡建立在难以证实的信念的基础上，这些均衡对于信念的稳定性低于其他一些比较合理的均衡。

尽管完美贝叶斯均衡可能产生一些可疑的博弈结果，但这个概念还是有用的，它能够排除其他一些可疑的博弈结果。例如，这个博弈不存在“只有强进入者才进入市场，弱进入者不进入市场”的均衡（因为这个均衡把不同类型的参与人分离开来，所以称为“分离均衡”）。这个均衡的形式如下所示：

进入威慑Ⅲ的一个推测的分离均衡：

进入者：不进入 | 弱进入者，进入 | 强进入者。
在位者：合作。

因为这个博弈不存在非均衡路径上的行为，所以分离均衡中的预测就没

有确定非均衡路径上的信念。在位者在均衡中既可能观察到进入者进入，也
162 可能观察到进入者不进入，他总是利用贝叶斯法则来形成自己的信念。在位者会认为，不进入的企业一定是弱者，进入的企业一定是强者。这符合纳什均衡背后的思想：每个参与人假设其他参与人采取均衡策略，然后再决定自己作出什么反应。在这里，给定在位者的信念，他的最优反应是（合作｜进入），这就是上面均衡中的第二部分。但是，这个均衡不可能成立，因为进入者想要偏离上面的策略。因为进入者知道在位者将和进入市场的企业合作，那么即使弱进入者也会选择进入市场。因此，这个博弈不可能有一个“只有强进入者才会进入市场”的均衡。我们放弃这种推测。

博士录取博弈

接下来的例子将告诉我们消极推测并不总是最令人满意的信念。假设一所大学知道 90%的人讨厌经济学，如果让他们读经济学博士课程，他们将会感到很不愉快；另外 10%的人喜欢经济学，他们将会在经济学博士课程中取得很好的成绩。而且，大学不能观察到申请者的类型。如果大学拒绝了学生攻读博士学位的申请，那么大学的支付为 0，学生要完成烦琐的申请工作，所以学生的支付为－1。如果大学接受了某个讨厌经济学的学生的申请，那么大学和学生的支付都是－10。但是，如果申请者是喜欢经济学的学生，那么大
163 学和学生的支付就都是＋20。图 6—2 画出了这个博弈的扩展式。喜欢经济学的学生在人群中的比例由自然选择行动的一个节点来表示，自然在这个节点上选择学生是喜欢经济学还是讨厌经济学。

博士录取博弈是我们将在第 11 章遇到的信号传递博弈之一。由于非均衡路径上的信念不同，这个博弈有几个不同的完美贝叶斯均衡。我们可以根据博弈的结果把这些均衡分为两大类：分离均衡和混同均衡。第一类是**分离均衡**（separating equilibrium），喜欢经济学的学生选择申请，讨厌经济学的学生选择不申请；第二类是**混同均衡**（pooling equilibrium），两种类型的学生都不申请。

博士录取博弈的分离均衡：

学生：申请｜喜欢经济学，不申请｜讨厌经济学。
学校：录取。

无论学生在均衡中是申请还是不申请，贝叶斯法则总是适用的，所以分离均衡无须界定非均衡路径上的信念。

博士录取博弈的混同均衡：

学生：不申请｜喜欢经济学，不申请｜讨厌经济学。

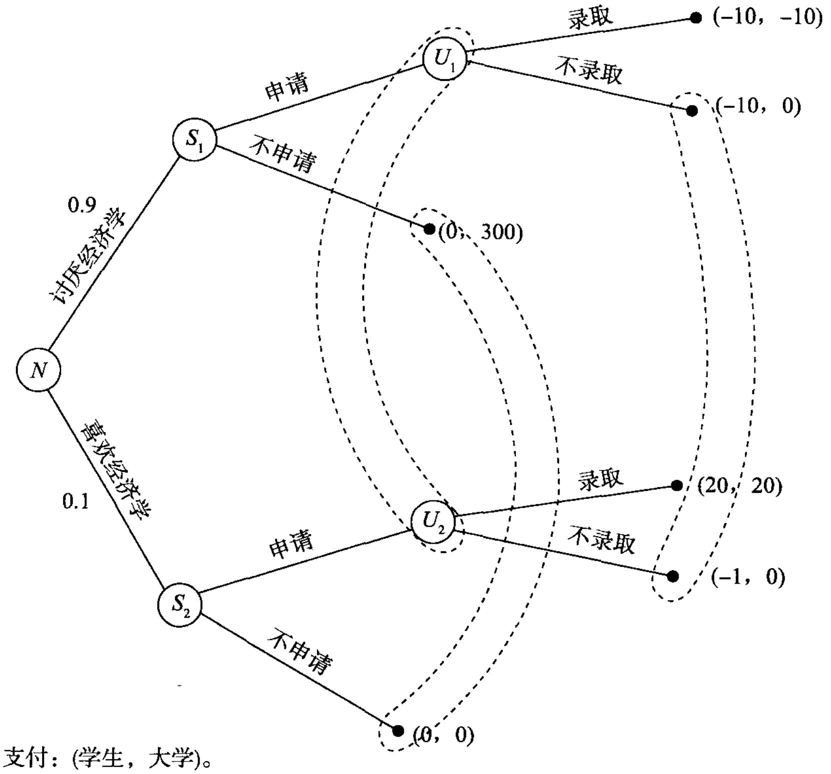


图 6—2　博士录取博弈

学校：不录取。

非均衡路径的信念：Prob（讨厌经济学｜申请）＝0.9（消极推测）。

消极推测支持这个混同均衡。因为学生准确地预期到大学不会录取他们，申请的支付为－1，所以两种类型的学生都不会选择申请。大学认为申请者讨厌经济学的概率为 90％，因此大学将拒绝任何一个愚蠢地选择申请的学生。

完美贝叶斯均衡没有对非均衡路径上的信念施加限制，所以经济学家提出了一些对均衡概念的外部精炼，章末注 N6.2 列举了几种对均衡概念的外部精炼。下面我们考察几个支持博士录取博弈中的混同均衡的非均衡路径上的信念。

消极推测。Prob（讨厌经济学｜申请）＝0.9

我们已经在前面介绍了这个信念，在这个信念下，非均衡路径上的行为没有改变大学的信念，大学的信念仍然是先验概率。消极推测的根据是，学生选择申请是一个错误，尽管讨厌经济学的学生在人群中的比例更高，但两种类型的学生犯这个错误的可能性是一样的。这个信念能够支持博弈的混同

均衡。

直观标准。Prob（讨厌经济学｜申请）＝0

直观标准（或“均衡占优”）是由乔和克雷普斯（Cho & Kreps，1987）最先提出的。这个信念认为，无论没有私人信息的参与人的信念是什么，某种类型的有私人信息的参与人都不能从选择非均衡路径上的行动中得益，那么，如果出现了属于非均衡路径上的行动，则没有私人信息的参与人应该认为有私人信息的参与人属于这种类型的概率为0。在这个博弈里，无论大学的信念是什么，讨厌经济学的学生都不能从申请的行动中得益，大学应该认为申请者讨厌经济学的概率为0。这个信念不支持混同均衡，如果大学支持这个信念的话，它将录取任何申请的学生。

完全可靠。Prob（讨厌经济学｜申请）＝m，$0\leqslant m\leqslant 1$

164 在这个方法下，给定任何一个可能的非均衡路径上的信念，均衡的策略组合都必须由参与人的最优策略构成。前面的进入威慑Ⅱ的均衡就满足这个要求，完全排除了博士录取博弈存在混同均衡的可能性。因为如果大学的信念是$m=0$，也就是大学认为只有喜欢经济学的学生才会提出申请，因而大学的最优选择就是录取申请者。要对预测中的混同均衡进行分析，第一个有用的步骤就是检验诸如$m=0$和$m=1$的极端信念能否支持这些混同均衡。

事前的特别规定。Prob（讨厌经济学｜申请）＝1

有时，建模者可以根据特定博弈的具体情况来验证一些信念。建模者可以认为，如果一个学生在明知道大学不会录取他的情况下，仍然愚蠢地决定申请，这样的学生不可能是喜欢经济学的。这个信念也能支持博弈的混同均衡。

解决非均衡路径上的信念问题的一个替代性方法是从源头着手，在构建模型时让不同类型的参与人在均衡中选择不同的均衡行动，使每一种均衡结果都有可能出现在博弈的均衡中。在这个博士录取博弈中，我们可以假设有一些学生既喜欢经济学，也喜欢填写申请表。这些学生将总是在均衡中选择申请，所以这时博弈就不存在一个没有学生选择申请的纯混同均衡，贝叶斯法则也总是适用的。在均衡中，因为申请不是非均衡路径上的行动，且标志着申请者总是一个喜欢经济学的学生，所以大学将总是录取申请者。如果建模者确实考虑了参与人的行动发生“颤抖”的可能性，而不是仅仅将其作为一个技术工具来使用，那么这种方法就尤其有吸引力。

进入威慑Ⅲ没有分离均衡，但有两个不同的混同均衡，上面各种信念的

逻辑也适用于这个博弈。我们在“合理”均衡中使用消极推测的信念。如果在位者的信念使他选择合作，那么两种类型的进入者都将进入市场；如果在位者的信念使他选择斗争，那么两种类型的进入者就都不会进入市场，所以，直观标准根本不能对这个博弈的信念加以任何限制。因为参与人的信念决定了“不进入市场”是不是最优的行动，所以，在完全可靠的信念下，“两种类型的参与人都不进入”不可能是参与人的均衡策略。

6.3 共同知识的重要性：进入威慑Ⅳ、Ⅴ

为了证明共同知识的重要性，我们接下来再介绍两种阻止进入博弈。我们在这两种阻止进入博弈中都采取消极推测的信念。在进入威慑Ⅲ中，在位者的收益会因为不了解信息而受到损害。进入威慑Ⅳ证明在位者的收益会因为不了解信息而得益。进入威慑Ⅴ介绍了当在位者和进入者拥有相同的信息，但信息不是共同知识时，博弈将会发生的变化。

进入威慑Ⅳ：在位者因为不了解信息而得益

在进入威慑Ⅳ中，我们令图 6—1 中的 $X=300$，所以现在选择斗争的收益高于参与人在进入威慑Ⅲ中选择斗争的收益。但是，博弈的另一方面仍然是一样的：进入者知道自己的类型，但是在位者不知道进入者的类型。下面是这个博弈唯一的完美贝叶斯纯策略均衡。[1] 165

进入威慑Ⅳ的均衡：

进入者：不进入｜弱进入者，不进入｜强进入者。
在位者：斗争。
非均衡路径上的信念：Prob（强进入者｜进入）＝0.5（消极推测）。

其他一些非均衡路径上的信念也能支持这个均衡，但是这个博弈不存在进入者选择进入的均衡。如果在位者选择斗争，他的预期支付为 150（$=0.5\times 0+0.5\times 300$），高于他选择合作的支付 50，所以这个博弈没有两种类型的参与人都选择进入的混同均衡。如果只有强进入者进入市场，那么在位者将总是选择合作，但这时弱进入者也会冒充强者进入市场，所以这个博弈也没有分离均衡。

和进入威慑Ⅲ不同，即使支付为 0（他自己事先并不知道这一点），在位者也总是选择斗争，因此，进入威慑Ⅳ的在位者的收益因为不了解信息而提高了。进入者很希望就斗争的成本问题与在位者沟通，但是在位者不会相信进入者，所以进入者永远也不会进入市场。

进入威慑Ⅴ：参与人缺乏他们是否知道某些信息的共同知识

在进入威慑Ⅴ中，也许进入者和在位者都知道（进入，斗争）的支付，但是进入者不知道在位者是否知道（进入，斗争）的支付。两个参与人都知道这一信息，但这个信息不是共同知识。

图 6—3 描述了这个有些复杂的情形。和以前一样，自然在博弈开始时赋予进入者一个类型——强进入者或弱进入者。进入者能够观察到自己的类型，但在位者不能观察到进入者的类型。然后，自然再次采取行动，选择是把进入者的类型告诉在位者还是保持沉默。在位者能够观察到自然这次采取的行动，但是进入者不能观察自然的选择。从节点 G_1 开始到 G_4 的四个博弈分别表示（进入，斗争）的支付和在位者的知识的不同组合。进入者不知道在位者究竟了解多少信息，所以进入者的信息分割是（$\{G_1, G_2\}$，$\{G_3, G_4\}$）。

166

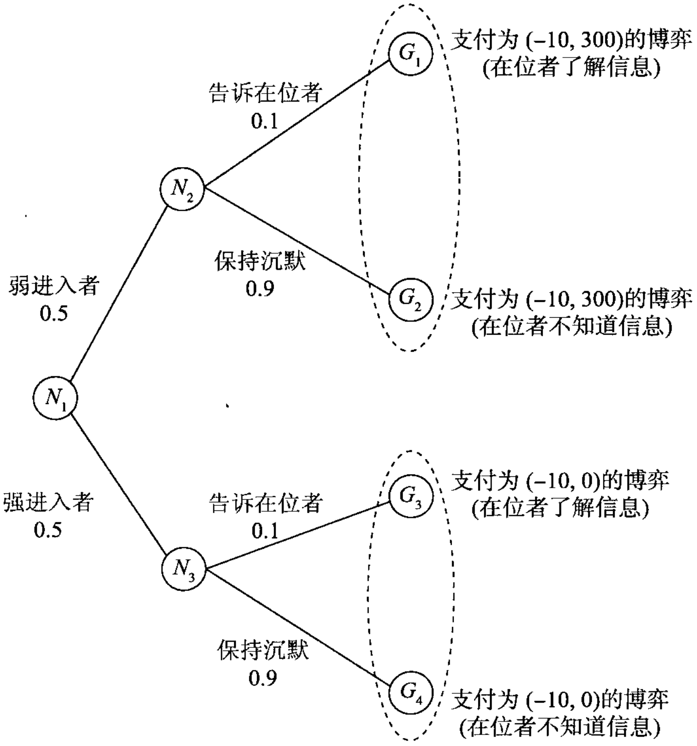


图 6—3 进入威慑Ⅴ

进入威慑Ⅴ的均衡：

进入者：不进入｜弱进入者，不进入｜强进入者。

在位者：斗争｜自然说进入者是弱者，合谋｜自然说进入者是强者，斗争｜自然保持沉默。

非均衡路径上的信念：Prob（强进入者｜进入，自然保持沉默）= 0.5（消极推测）。

进入者认为在位者不知道自己类型的概率很高，由于在位者会因为以下两个原因而选择斗争，所以进入者应该选择不进入。自然保持沉默的概率为0.9，这时在位者选择斗争的预期支付为150。自然告诉在位者进入者是弱者的概率为0.05（=0.1×0.5），这时在位者选择斗争的支付为300。即使进入者是强者，而且自然也告诉了在位者进入者是强者，但是，进入者不知道在位者是否知道他是强者，他选择进入的预期支付为−5（= 0.9 ×（−10）+ 0.1 ×40），所以他还是选择不进入。

如果进入者是强者成为共同知识，那么进入者将会进入市场，在位者会选择合作。当两个参与人都知道进入者的类型，但这一信息不是共同知识时，进入者将选择不进入市场，尽管如果进入者进入市场的话，在位者将会选择合作。我们可以从这个例子看出共同知识的重要性。

6.4 重复囚徒困境博弈中的不完全信息："四人帮"模型

为了找出重复博弈的解，我们在第5章介绍了连锁店悖论和无名氏定理等理论。最后，我们发现不确定性对重复博弈的结果有一定的影响，但是，我们在第5章里没有考虑不完全信息的问题。读者可能会猜想：如果参与人不知道彼此的类型，由此而产生的混乱可能会导致参与人之间的合作行为。为了分析不完全信息对参与人的行为的影响，下面我们就把不完全信息加入无限次重复囚徒困境博弈（它的支付见表6—1），并找出这个博弈的完美贝叶斯均衡。

表 6—1 **囚徒困境**

167

		列：抵赖	列：坦白
行	抵赖	5，5	−5，10
行	坦白	10，−5	**0，0**

支付：（行，列）。

把不完全信息整合进模型的一个方法是假设很多参与人是非理性的，但参与人不知道其他某个参与人的类型是不是非理性的。在这种方法里，我们可以假设行以很高的概率是一个盲目地采取针锋相对策略的人。如果列认为他的博弈对手是一个采取针锋相对策略的参与人，那么他的最优策略是"开

始时选择抵赖，到博弈将要结束时选择坦白直至博弈结束”（与博弈结束的接近程度依赖于参数）。如果行对他的博弈对手的情况不甚了解，但是认为他以很高的概率是一个采取针锋相对策略的参与人，那么行也会采取同样的策略。但是，这样一个模型回避了问题的实质，因为现在影响博弈的不是不完全信息，而是参与人以很高的概率盲目地采取针锋相对策略。因为针锋相对策略不是一个理性的策略，所以很多参与人采取针锋相对策略的假设偏离了问题的实质。一个更令人吃惊的结果是，少量的不完全信息会使博弈结果有很大的改变。[2]

“四人帮”模型

在对声誉问题的诸多解释中，最有名的一个模型是由克雷普斯、米尔格罗姆、罗伯茨和威尔逊提出的（Kreps，Milgrom，Roberts and Wilson，1982），这个模型就是此处所称的“四人帮”模型（the Gang of Four）。在他们的模型里，有一种类型的参与人确实只能采取针锋相对策略，除此之外他们不能采取任何策略；而其他很多参与人则把自己伪装成这种类型的参与人。这个模型的妙处在于它只需要少量的不完全信息，而且行是一个以很小的概率 γ 总是采取针锋相对策略的参与人。存在一些总是采取针锋相对策略的参与人这个假设并不是那么不合理，它尤其适用于消费者，因为消费者所承担的进化压力小于企业。

把采取针锋相对策略的参与人称为是“非理性的”可能甚至会有一些误导，因为我们假设这类参与人是很少的一部分，所以这些参与人可能只是有着与众不同的支付函数而已。这类参与人的直接影响很小，但是，因为其他参与人会模仿他们的行为，所以这类参与人会对博弈的结果产生很大的影响。即使列知道行很可能是在把自己伪装成只能采取针锋相对策略的参与人，但是，只要行继续伪装下去，列并不关心事实的真相。伪善并不只是罪恶给予美德的贡物，它同样也能起到制止不当行为的作用。

当每个人都重复采取真正的利他行动时，可以被观察到的状态称作太平盛世，正如《马太福音 5》（*Matthew 5*）第 44～48 节所讲的：

168 只是我告诉你们，要爱你们的仇敌。为那逼迫你们的祷告。这样，就可以作你们天父的儿子。因为他叫日头照好人，也照歹人，降雨给义人，也给不义的人。你们若单爱那爱你们的人，有什么赏赐呢？就是税吏不也是这样行吗？你们若单请你弟兄的安，比人有什么长处呢？就是外邦人不也是这样行吗？所以你们要完全，像你们的天父完全一样。

“四人帮”模型更形象地表述了上述意思，但重要的是，当世界末日来临之时，酒店老板将开始选择坦白。

定理 6.1：“四人帮”定理

考虑一个重复进行 T 期的囚徒困境博弈，博弈没有贴现，但参与人是一个以 γ 的概率总是采取针锋相对策略的参与人。在这个博弈的任何一个完美贝叶斯均衡里都存在一个 M，使得任何一个参与人选择坦白的时期数量都小于 M，且 M 取决于 γ，但与博弈重复进行的时期数 T 无关。

“四人帮”定理的重要性在于，当博弈即将结束时，参与人将转而选择坦白，但是参与人选择坦白的时期数量独立于博弈重复进行的时期数。假设 $M=2\ 500$。如果 $T=2\ 500$，那么参与人可能在每一期都选择坦白。但是，如果 $T=10\ 000$，那么就有 7 500 个时期参与人不选择坦白。只要人群中以一个合理的概率存在着某种特别类型的参与人，那么参与人在博弈中选择合作的时期数量就会相当地大。威尔逊曾经建立了一个进入威慑模型（未发表），表明尽管进入者属于某种特别类型的概率只有 0.008，但在位者将在离博弈结束的时间小于 7 期时才会与进入者合作，在此之前在位者将一直选择和进入者斗争（相当于上面的抵赖）。

“四人帮”定理更多地是刻画了博弈的结果，而不是博弈的均衡。因为建模者必须在寻找完美贝叶斯均衡时检查均衡路径，验证非均衡路径上所有的子博弈，所以寻找博弈的完美贝叶斯均衡是一件困难和乏味的事情。因而，建模者通常只满足于描述均衡策略和均衡支付的重要特征。为了理解定理 6.1 的正确性，我们考虑一个 10 001 期的博弈，行以 0.01 的概率采取冷酷策略，即开始时选择抵赖，如果其他参与人选择了坦白，那么就选择坦白，并在博弈的剩余部分里一直选择坦白。如果博弈的支付如表 6—1 所示，那么列对一个采取冷酷策略的参与人所采取的最优策略就是（除非行先选择坦白，否则只在最后一期选择坦白；如果行选择了坦白，那么也选择坦白）。当两个参与人在最后一期之前都采取抵赖时，列的支付为 50 010（$=10\ 000\times5+10$）。现在假设行不是冷酷的，而是非常贪婪的，总是在每一期都选择坦白。如果列采取前面的策略，那么博弈的结果就是两个参与人在第一期选择（坦白，抵赖），在以后各期选择（坦白，坦白），列的支付为 -5（$=-5+10\ 000\times0$）。如果上面两种博弈结果出现的概率分别为 0.01 和 0.99，那么列采取上面的策略的预期支付为 495.15。另一方面，如果列采取的策略为（在每一期都选择坦白），那么他的预期支付只有 0.1（$=0.01\times10+0.99\times0$）。很明显，即使行以 0.99 的概率采取一个非常具有攻击性的策略，列也应该为了自己的利益而

抓住可能的与行合作的机会。

但是，具有攻击性策略并不是行对列的最优策略，行的更好的策略是在博弈的最后两期选择坦白，在此之前一直选择抵赖。给定列在博弈的早期阶段选择合作的行动，行也会选择合作的行动。因为两个参与人之间的递推过程可以向前和向后继续下去，所以上面的论证过程并没有描述实际的纳什均衡策略，但是，上面的论证过程确实证明了为什么列会在博弈的第一期选择抵赖（这正是论证的要点）：如果行真的采取冷酷策略的话，那么与他合作的收益将非常大，列为此而承担在第一期得到较低收益的风险是值得的。

169 “四人帮”定理提供了解决连锁店悖论的一个途径，但是，和无限次重复博弈一样，它也产生了多重均衡的问题。首先，如果信息的不对称是双方面的，即两个参与人都有可能是特殊类型的参与人，那么在类似进入威慑博弈的博弈里，博弈的结果就更不确定了。而且，博弈的结果也取决于以正的概率（如果概率很小的话）发生的特殊行为。定理 6.2 告诉我们，只要建模者使博弈持续足够长的时期，并仔细地选择非理性的行为形式，那么他就可以使博弈的平均支付等于任何一个特定的值。

定理 6.2：不完全信息的无名氏定理（Fudenberg & Maskin，1986，p. 547）

对于任何一个没有贴现且有两个参与人的重复博弈，建模者可以选择某种形式的非理性行为，使得对于任何一个大于 0 的概率 ε，都存在一个有限次的重复满足参与人以（$1-\varepsilon$）的概率是理性的，并且某些序贯均衡的支付和任何一个大于最小最大支付的意愿支付之差小于 ε。

6.5 阿克塞尔罗德竞赛

另外一个解决重复囚徒困境博弈的方法是实验，例如政治科学家罗伯特·阿克塞尔罗德（Robert Axelrod）在他 1984 年的著作中描述的循环赛。竞争者向一个重复进行 200 次的囚徒困境博弈提交自己的策略。因为参与人不能在博弈开始后修正自己的策略，所以参与人能够承诺自己将采取某一策略，但是，参与人可以选择自己所挑选的复杂策略。如果参与人想要和一个不能作出承诺的参与人一样，根据博弈的历史修正自己的策略，那么他可以选择一个满足子博弈完美性的策略；但是，参与人也可以提交一个非完美的策略，例如针锋相对策略或更宽容的“两次不合作就报复”（tit-for-two-tats）的策略。参与人以电脑程序的形式提交自己的策略，电脑把策略加以匹配，

然后自动地运行这些程序。阿克塞尔罗德第一次进行的循环赛中有 14 个程序。每一个程序都和其他所有的程序进行博弈，胜利者是所有博弈中支付累计值最高的策略。第一次循环赛的胜利者是阿纳托尔·拉波波特（Anatol Rapoport），他的策略是针锋相对策略。

循环赛能够帮助我们理解为什么在给定参数的博弈中，有些策略比其他策略更可靠。因为这个循环赛的均衡不是参与人的共同知识，所以和试图找出纳什均衡是完全不同的。这种情况可以被视为一个不完全信息的博弈，在这个博弈里，自然选择参与人的数量、认知能力和先验信念。

在宣布了第一次循环赛的结果之后，阿克塞尔罗德又进行了第二次循环赛。为了避免连锁店悖论的问题，这次竞赛规定博弈在每一轮结束的概率 $\theta=0.00346$。在 62 个参与人中这次循环赛的胜利者仍然是拉波波特，他的策略还是针锋相对策略。

在此之前，拉波波特与他人合写了一本关于囚徒困境的分析、实验和模拟的专著（Rapoport & Chammah，1965）。为什么他选择了这个简单的针锋相对策略呢？阿克塞尔罗德指出，针锋相对策略有三个优点：

（1）针锋相对策略从来不会引发参与人选择坦白（**适意性**（niceness））。

（2）一旦其他参与人选择了坦白，针锋相对策略会立即进行报复（**应激性**（provocability））。

（3）如果参与人在选择了坦白以后，又继续合作，针锋相对策略会原谅这个参与人（**宽容**（forgiving））。 170

尽管针锋相对策略有上述优点，我们仍然要仔细分析循环赛的结果。这并不意味着针锋相对策略是最好的，或者应该始终期望合作行为出现在重复博弈中。

第一，针锋相对策略在一对一的竞赛中并不比其他策略好。针锋相对策略取得循环赛胜利的原因是，它通过合作行为积累了较高的分数，针锋相对策略在很多时候得分很高，得低分的时候较少。但是，在淘汰制的循环赛里，针锋相对策略会很快被其他策略淘汰，因为尽管针锋相对策略的得分很高，但它的得分从来就不是最高的。

第二，其他参与人的策略对针锋相对策略取得胜利是很重要的。在循环赛里，没有哪一个策略是作为纳什均衡策略而提交的。如果参与人知道了自己所面临的策略是什么，他就会修正自己的策略。在第二次循环赛里，有些策略在第一次循环赛中取得了好成绩，但是，因为环境改变了，这些策略在第二次循环赛里的表现很糟糕。还有一些其他的策略为了探查对手的策略，在学习过程中浪费了太多两个参与人都选择（坦白，坦白）的阶段，但是，

如果博弈重复进行 1 000 次，这些策略的表现会更好。

第三，如果参与人因为颤抖的原因而偶然选择了坦白，且两个参与人都采取针锋相对策略，那么这两个参与人的支付就会很低。针锋相对策略立即惩罚那个选择了坦白的参与人，但却没有规定如何结束惩罚期。

因地制宜、因时制宜永远都是正确的。如果信息是完全的，且支付是所有参与人的共同知识，那么唯一的均衡结果就是选择坦白，但是，几乎在任何一个可能的情况下，信息总是有些许不完全，所以出现合作行为是合理的。在任何一个环境中，针锋相对策略都是参与人的次优选择，但是它能够适用于各种不同的环境，这是针锋相对策略的优势所在。

*6.6 信贷和企业年龄：戴蒙德模型

另一种考察声誉的途径是利用道格拉斯·戴蒙德信贷模型（Douglas Diamond's model of credit term），这个模型是一个与“四人帮”模型很相似的博弈模型，该模型试图解释为什么企业的历史越长，银行给它的贷款利率就越低。特尔瑟（Telser，1966）提出：如果在位企业能够得到利率更低的贷款，或者在位企业能在破产之前承受更长时间的亏损，那么掠夺性定价就是一个可信的威胁。但是，我们可以对之提出疑问：为什么这样做能够有效地阻止其他企业进入市场？如果进入者是其他行业里的一个庞大而历史悠久的企业，情况又会如何？我们应该考虑以下问题：为什么根基深厚的企业能够得到利率更低的贷款？

戴蒙德（Diamond，1989）发展了一个模型，解释为什么老企业的违约风险比新企业要低。他的模型里既有逆向选择（因为企业的类型不同），也有道德风险（因为企业有隐藏行动）。模型里有三种类型的企业：R 型企业、S 型企业和 RS 型企业。企业在 0 期成立，在每一个 T 期的开始向银行申请贷款。我们应该把企业想象成是迭代的，即在任何一个时点上都有不同年龄的企业同时存在，但是模型只考察一代企业的生命周期。所有的参与人都是风险中性的。RS 型企业可以在两类项目之间独立地进行选择，一类是预期收益为负的有风险项目，另一类是预期收益很低但大于零的无风险项目。尽管有风险项目的预期收益很低，但是这种项目一旦成功，其收益率比无风险的项目要高得多。R 型企业只选择有风险项目，而 S 型企业只选择无风险项目。在每一期的结束，企业得到利润并偿还贷款，然后企业再选择新的项目并申请下
171 一期的贷款。银行无法判断企业选择了什么样的项目，也不知道企业的当期利润。但是，一旦贷款没有偿还，它们可以获知企业的资产情况。如果企业选择了有风险项目，并且项目失败了，就会出现这种情况。

这个博弈预示着本书后面将要出现的另外两个信贷模型：8.4 节的回收模型和 9.6 节的斯蒂格利茨-韦斯（Stiglitz-Weiss）模型。这两个模型都是银行担心不能收回贷款的一期博弈。在前一个模型里，银行担心借款人没有付出足够的努力；在后一个模型里，银行担心借款人属于不能偿还贷款的那种类型。戴蒙德模型是逆向选择和道德风险的综合：借款人有不同的类型，但某些借款人可以在几种行动之间选择。

这个博弈的均衡路径分为三个阶段。RS 型企业在博弈的早期阶段选择有风险项目。如果项目失败了，它们的最大损失也就是破产；如果项目成功了，那么它们在偿还了贷款之后还有大量剩余的利润。随着时间的推移，破产使选择风险项目的企业（RS 型企业和 R 型企业）数量越来越少，而 S 型企业的数量却没有什么变化。因此，银行就能够在不降低利润的情况下降低利率。无风险资产的价值是其无风险的现金流减去利息支出，有风险资产的价值是预期的公司破产前的现金流减去利息支出。如果利率下降了，相对于有风险资产而言，无风险资产的价值就上升了。在 t_1 期开始的博弈第二阶段，因为此前的利率已经下降了不少，所以 RS 型企业也开始选择无风险项目，这时只有少量的 R 型企业继续选择有风险项目，而且 R 型企业的数量在不断地减少。因为银行知道 RS 型企业转而选择了无风险项目，所以利率在 t_1 期就会大幅度下降。一个企业存在的时间越长，它是 R 型企业的可能性就越小，所以银行就会给它利率较低的贷款。图 6—4 画出了利率随时间变化的路径。

随着时间越来越接近最后一期 T，无风险资产在未来的现金流的价值也逐渐降低。这时，即使在利率较低的情况下，RS 型企业也会再次开始选择有风险项目。和 t_1 期不同的是，RS 型企业不会一下子全部改为选择有风险项目。在 t_1 期，如果只有一部分 RS 型企业决定转而选择无风险项目，则银行 172
愿意降低利率，而这又使无风险项目对 RS 型企业更有吸引力。另一方面，如果一部分 RS 型企业在 t_2 期转而选择有风险项目，那么银行就会提高利率，而较高的利率又使有风险项目对 RS 型企业更有吸引力。这个结果在第 9 章的柠檬货模型中也将出现。RS 型企业在 t_2 期和 t_3 期之间采取混合策略，随着时间的推移，越来越多的 RS 型企业转而选择有风险项目，利率也随着有风险项目的增多而上升。在 t_3 期，因为利率比较高，而且时间也很接近博弈终点了，这时所有的 RS 型企业都采取选择有风险项目的纯策略。在最后一期，因为失败了的有风险项目使 RS 型企业的数量减少了，所以银行利率又会有所下降。

读者可能会问：在建模时，我们的模型为什么要有三种类型的企业，而

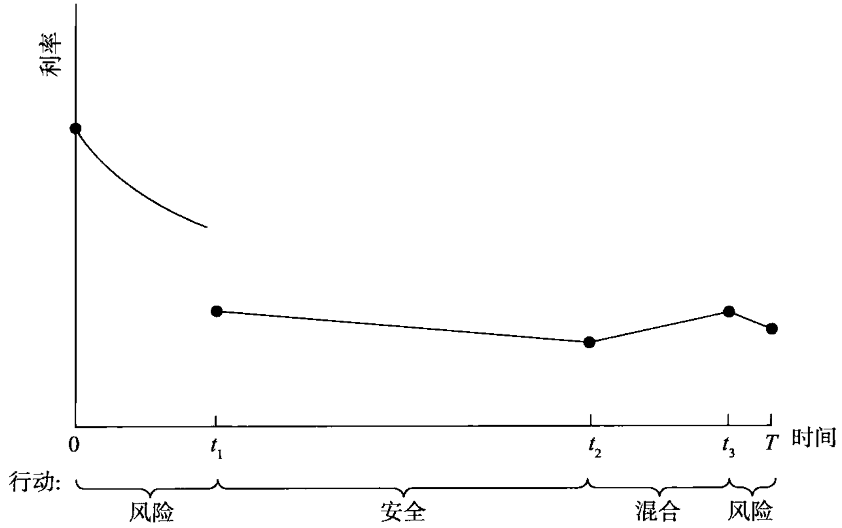


图 6—4　利率随时间变化的路径

不是两种类型的企业？S 型企业和 RS 型企业肯定是需要的，R 型企业是否需要呢？因为破产的企业可能是 R 型企业，所以在有三种类型企业的博弈里，破产绝不会出现在非均衡路径上，因而增加一种企业类型能够使模型的均衡更加简洁。R 型企业的存在使贝叶斯法则总是适用于这个博弈，同时还排除了某些特殊的信念和一些荒谬的完美贝叶斯均衡。

这个模型是一个“四人帮”模型，但是它和以前的例子有一个重要的不同之处：戴蒙德模型不是静态的，随着时间的推移，一些 R 型企业和 RS 型企业破产了，而这改变了银行的支付函数。因此，严格地说，这个博弈不是重复博弈。

注

N6.1　完美贝叶斯均衡：进入威慑博弈Ⅱ、Ⅲ

- 4.1 节证明了即使在完美信息博弈中，也并不是每一个子博弈精炼均衡都是颤抖的手均衡。但是，因为在完美信息博弈中无须界定非均衡路径上的信念，所以完美信息博弈的每一个完美子博弈均衡都是完美贝叶斯均衡。
- 假设 $y>0$，由方程 (6.1)，设 $x=(0\cdot y)/0$ 并假设这个等式成立，则可以推断出 $(0\cdot y)/0=y$。由数学运算可知，$x\cdot 0=((0\cdot y)/0)\cdot 0$，即 $0=(0^2\cdot y)/0=(0\cdot y)/0=y$，与假设矛盾。因而当分式中包含 0

时，方程（6.1）没有意义。

- 克雷普斯和威尔逊（Kreps & Wilson，1982）应用了与完美贝叶斯均衡相同的思想来构建他们关于序贯均衡的概念，但他们引入了第三个条件，这个条件仅定义于离散博弈策略中，以更严格地限制信念：

  （3）信念是一系列理性信念的极限，即如果（μ^*，s^*）是均衡评估，那么某些理性信念序列以及完备混合策略序列将收敛于此，即对 $\{\mu, s\}$ 中的某些序列 $\{\mu^n, s^n\}$，有

$$(\mu^*, s^*) = \lim_{n\to\infty} (\mu^n, s^n)$$

  条件（3）是相当合理的，而且将序贯均衡与颤抖的手完美均衡紧密联系起来，但相比于应用来讲，条件（3）进一步增加了这个概念的难度。如果所有参与人都应用完备混合策略序列 s^n，那么每个行动都将以某个正的概率被采用，则观察到任意行动之后，就可以应用贝叶斯法则来构造信念 μ^n。条件（3）说明，均衡信念必须是某些这样的序列的极限（虽然它不是每个序列的极限）。

N6.2 完美贝叶斯均衡的再精炼：进入威慑和博士录取博弈

- 弗登伯格和梯若尔（Fudenberg & Tirole，1991b）仔细研究了有关完美贝叶斯均衡的定义的问题。 173
- 6.2 节介绍了一些有争议的限制信念的方法，例如消极推测和均衡优势等等，但是，一些争议较少的信念有时是很有用的。假设在一个有三个参与人的博弈中，史密斯和琼斯拥有关于布朗的不完全信息。如果琼斯偏离了均衡路径，那么史密斯和琼斯是否应该修正他们关于布朗的信念呢？此时，消极推测就更合理。如果布朗偏离了均衡路径，非均衡路径上的信念能否告诉我们史密斯和琼斯正在以不同的方式修正他们对布朗的信念呢？这个问题的答案是不确定的，因为根据海萨尼公理，每个参与人在博弈开始时的先验信念都是一样的。

  如果存在第二种可能，布朗自己偏离了均衡路径，那么，通过非均衡信念来确定史密斯和琼斯以不同的方式更新了对布朗的信念是否正确呢？在海萨尼关于每个人都在同一起点开始的学说的框架下，这一点看起来是很可疑的。

  另一方面，考虑非均衡移动的颤抖解释。或许如果琼斯颤抖了，并选择了错误的策略，则这确实会影响布朗的类型。例如，如果布朗是强的类型，则琼斯可能会更经常地颤抖。琼斯也会从自己的颤抖中学会一些东西。一旦我们进入非贝叶斯信念的王国，如果没有真实世

界的内容，我们就很难清楚地知道该做些什么。

关于支配和颤抖的讨论应用于排除其他参与人过去、现在以及未来的纳什均衡。信念的讨论仅与过去的行动有关，因为它们取决于不知情的参与人观察到的行动以及对行动的解释。举例而言，一个颤抖的或者弱支配的讨论可能会认为，参与人会采取行动 1 而不是 2，因为虽然支付相同，但如果参与人现在选择行动 2，在将来他会因为颤抖而不情愿地选择伤害所有人的行动。在这类博弈中，基于这种信念的讨论是无效的。

- 不同的均衡概念在实际经济模型中的适用性的问题请参见鲁宾斯坦（Rubinstein，1985b）关于讨价还价问题的论文、希勒和维施米（Shiler & Vishmy，1986）关于绿票的论文以及 D. 赫什莱弗和蒂特曼（D. Hirshleifer & Titman，1990）关于善意收购的论文。
- **外部精炼**（exotic refinement）。完美贝叶斯均衡是纳什均衡的逻辑拓展，包含了最佳反应、向后归纳以及理性信念等思想。还有可能存在更进一步的精炼，但这类精炼可能难以讨论，比如，要求参与人在观察到非均衡行动的同时更新他们的信念，但由此而增加的复杂性无法为这种程度的精炼提供足够的帮助。学者们已经提出了许多关于排除无理由的非均衡博弈的方法（例如，直觉标准），但没有一种是被广泛接受的。宾莫尔（Binmore，1990）和克雷普斯（Kreps，1990b）的专著讨论了理性和均衡概念的问题。旺达姆（Van Damme，2002）所著博弈论手稿中的一章也对此进行了讨论。
- 关于**"烧钱博弈"**（burning money）或**"前向归纳"**（forward induction）的古怪想法，请参见 Kohlberg & Mertens（1986）或者 Van Damme（1989）。

前向归纳的要求：一个自我强化（self-enforcing）的产出必须满足以下条件：在任意一个包含这个产出的均衡中，如果一个次优策略（即不是最优反应）被删除，这个产出依然是自我强化的。

这里存在这样一个逻辑。考虑一个两人博弈，存在一个混合均衡，在这个均衡中，参与人 1 最喜欢均衡 X，而且在其他博弈进行之前，只要他愿意，他可以烧掉一张 5 美元的纸币。除非他会因此影响参与人 2 使得他也采取均衡 X，否则参与人 1 就没有理由烧掉美元。所以，如果参与人 2 看到他烧钱了，向前归纳指出，参与人 2 会认为参与人 1 认为他会采取 X。在这种情况下，参与人 1 将采取 X，参与人 2 的最佳反应是同样也采取 X，所以参与人 1 的烧钱策略是有效的。

奇怪的是，如果参与人 1 这样做了并实现了他愿意看到的均衡 X，那么，如果参与人 1 并不烧钱，则参与人 2 会认为无论如何他们都会采取 X，那么参与人 2 自己也会采取 X。所以，不烧钱也会改变信念。“强壮、安静型”获胜的根本在于参与人 1 拥有发出昂贵信息的选择权。重要的不在于你说了什么，而在于你是否可以说。 174

注意，前向归纳甚至对于对称信息博弈也会产生影响。

- 啤酒—蛋糕博弈（Cho & Kreps，1987）。乔和克雷普斯以啤酒—蛋糕博弈的例子来解释直观标准。在这个博弈里，参与人Ⅰ是一个善于打架的强者的概率为 0.9，是一个不善于打架的弱者的概率为 0.1。但是，即使参与人Ⅰ认为自己能够打赢，他也不想和别人打架。如果参与人Ⅰ是弱者，参与人Ⅱ就想和他打架。参与人Ⅱ不知道参与人Ⅰ的类型，但是他能够观察参与人Ⅰ的早餐吃什么。参与人Ⅱ知道弱者喜欢以蛋糕作为早餐，而强者则以啤酒作为早餐。参与人的支付如图 6—5 所示。

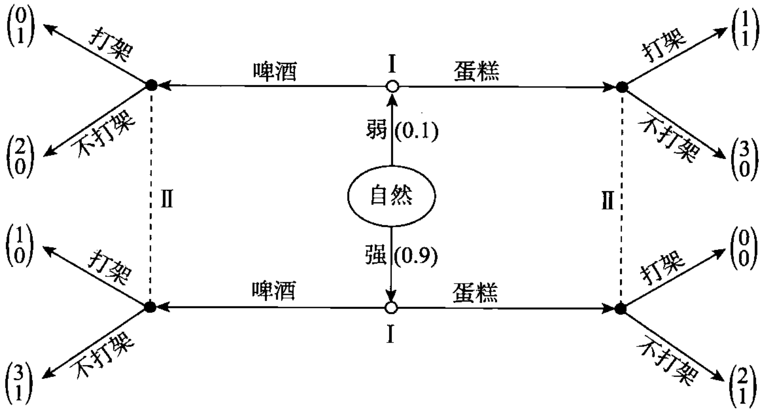


图 6—5　啤酒—蛋糕博弈

图 6—5 画出了这个博弈的扩展式。在博弈树的中央，自然首先选择参与人Ⅰ是强者还是弱者。然后参与人Ⅰ选择是以啤酒还是蛋糕作为早餐。如果参与人Ⅱ的决策结在同一个信息集里，我们就用虚线将这些结联系起来。接着，参与人Ⅱ选择打架还是不打架，两个参与人得到支付。

这个博弈有两个完美贝叶斯均衡，且两个均衡都是混同均衡。在第一个均衡里，无论参与人Ⅰ是什么类型，他都选择啤酒作为早餐，

参与人Ⅱ选择不打架。这个均衡可以由下面的非均衡路径上的信念支持：如果参与人Ⅰ早餐吃蛋糕，那么他是弱者的概率大于0.5。这时，如果参与人Ⅱ观察到参与人Ⅰ早餐吃蛋糕，那么他就会选择打架。在第二个均衡里，无论参与人Ⅰ是什么类型，他都选择蛋糕作为早餐，参与人Ⅱ选择不打架。这个均衡可以由下面的非均衡路径上的信念支持：如果参与人Ⅰ早餐喝啤酒，那么他是弱者的概率大于0.5。这时，如果参与人Ⅱ观察到参与人Ⅰ早餐喝啤酒，那么他就会选择打架。

消极推测和直观标准都排除了第二个均衡。根据直观标准的逻辑，参与人Ⅰ可以偏离均衡策略而无须担心参与人Ⅱ会和他打架。参与人Ⅰ的理由如下：

如果我以啤酒作为早餐，那么这应该告诉你我是一个强者。只有当我是一个强者时，早餐喝啤酒才会给我带来好处。如果我是一个弱者，就决不会以啤酒作为早餐。但是，如果我是强者，且这个信息是可置信的，那么我将从早餐喝啤酒中得益。

N6.5 阿克塞尔罗德竞赛

175 ● 霍夫斯塔特（Hofstadter，1983）对囚徒困境和阿克塞尔罗德竞赛作了精彩的讨论，阿克塞尔罗德竞赛是由一位很聪明的计算机科学家首先提出的，在此之前，经济学界还没有接触过这个问题。霍夫斯塔特的书适用于经济学原理班的学生。阿克塞尔罗德在1984年的文章中详细地讨论了阿克塞尔罗德竞赛问题。

习 题

6.1 成本具有不完全信息时的古诺博弈（难）

这个问题把不完全信息引入第3章中的古诺模型，现在我们假设参与人的类型是连续的。

(a) 我们对第3章中的古诺博弈作出如下修正。假设Apex公司每单位产品的平均生产成本是c，Brydox公司的生产成本仍然为0。如果生产成本是两家公司的共同知识，每个企业的产量是多少？如果$c=10$，求出每个企业的产量的具体数值。

(b) 令Apex公司的生产成本以θ的概率为c_{max}，以$1-\theta$的概率为0，因此，Apex公司为上面两种类型中的某一种。Brydox公司不知道Apex公司的类型。这时每个企业的产量是多少？

(c) 令 Apex 公司的生产成本 c 服从 $[0, c_{max}]$ 上的均匀分布，因此这时 Apex 公司的类型是一个连续变量。假设 Brydox 公司不知道 Apex 公司的类型，这时每个企业的产量是多少？

(d) 在第 3 章的零成本古诺博弈中，每个企业的产量是 40。如果在 (b) 和 (c) 中的 $c_{max}=0$，这时两个企业的产量是多少？

(e) 令 $c_{max}=0$，$\theta=0.5$，因此 Apex 公司在 (a)、(b) 和 (c) 中的平均生产成本为 10，这时 Apex 公司在上面三种情况下的平均产量是多少？

(f) 假设在 (b) 中 $c_{max}=0$，$\theta=0.5$，但是 $c=30$，这时 (b) 的公式推导出的产量是多少？这个结果可以用来说明什么？

6.2 限制性定价（中等难度）（参见 Milgrom & Roberts (1982a)）

一个在位者经营着一家地方性的电脑市场，这个市场是自然垄断的，只有一个企业能够生存下来。在位者的经营成本为 C，C 以 0.2 的概率等于 20，以 0.8 的概率等于 30。

在第一个时期，在位者可以制定一个低价格，损失的利润为 40；或者制定一个高价格，当成本为 20 时损失的利润为 0。但如果成本 $C=30$，则低价格将导致在位者损失 180 的利润。（可以想象成所有消费者都认定一个高价格，所以无论边际成本是 20 还是 30，一个静态的垄断者都可以选择那个高价格。）

潜在的进入者了解这些概率，但并不知道在位者的实际成本。在第二个时期，进入者可以以 70 的成本进入，进入后的经营成本为 25，进入者的进入成本和经营成本是参与人的共同知识。如果市场上有两家企业，则每家都将遭受 50 的损失，经营成本更高的企业马上被淘汰，留下来的企业得到 200 的收入并支付他的经营成本。这里假定不存在折现，即 $r=0$。

(a) 如果博弈有如下的完美贝叶斯均衡（混同均衡）：无论在位者的成本是多少，在位者都选择低价格，这时非均衡路径上的信念是什么？

(b) 找出混同完美贝叶斯均衡，满足：无论成本如何，在位者都选择相同的价格。 176

(c) 不支持高价格混同均衡的非均衡信念集是怎样的？

(d) 这个博弈的分离均衡是什么？

6.3 不对称信息和先验信念（中等难度）

在表 6—2 的昂贵交谈博弈中，参与人在进行性别战博弈之前先有一个交流的行动，男子选择是沉默还是交谈。交谈的成本为 1，男子在交谈时宣布他将去看职业拳击赛。这个宣布仅仅是参与人的交谈，对男子没有约束力。

表 6—2　　　　　　　　　昂贵交谈博弈中的子博弈支付

		女子	
		拳击	芭蕾
男子	拳击	3，1	0，0
	芭蕾	0，0	1，3

支付：（男子，女子）。

（a）画出这个博弈的扩展式。如果两个参与人同时采取行动，则把男子的行动放在前面。

（b）这个博弈的策略集合是什么？（从女子的策略集合开始。）

（c）根据观察的行动，这个博弈的三个完美纯策略均衡结果分别是什么？（注意：策略和博弈结果是不同的。）

（d）如果男子在完美均衡中选择交谈，那么这个均衡的策略是什么？

（e）前向归纳法的思想认为，即使我们反复地把劣策略从博弈中剔除出去，博弈的均衡仍然是一个均衡。证明前向归纳法使（沉默，芭蕾，芭蕾）不可能是博弈的均衡结果。

6.4　缺乏共同知识（中等难度）

这个问题考察进入威慑Ⅴ中的参数的变化对博弈的影响。

（a）为什么 Pr（强进入者｜进入，自然保持沉默）＝0.95 不支持 6.3 节中的均衡？

（b）如果自然把进入者类型告诉在位者的概率为 0.7，为什么 6.3 节中的均衡就不再是均衡了？

（c）假设自然把进入者类型告诉在位者的概率为 0.7，请描述这时的均衡。非均衡路径上的信念应该是什么？

不完全信息下的重复囚徒困境：第 6 章的课堂博弈

177 考虑如表 6—3 所示的囚徒困境，该博弈通过在表 1—2 的每一个支付上添加 8 而得到，与表 5—10 相同：

表 6—3　　　　　　　　　囚徒困境

		列	
		抵赖	坦白
行	抵赖	7，7	−2，8
	坦白	8，−2	**0，0**

支付：（行，列）。

将这个博弈重复进行五次，目标是找到一个尽可能高的非贴现综合支付（并不仅仅是为了得到一个高于班里其他同学的支付总和）。同时注意，在教室里有很多分成行与列的小组，所以，仅击败你的对手并不一定是一个长久有效的策略。

教师将学生分组，包含三名学生的小组将代表行，包含一名学生的小组代表列。每个代表行的小组同多个代表列的小组进行博弈。

五次重复博弈将因列的行为不同而不同。

博弈（ⅰ）完全信息：列将按照表6—3寻找它的最大支付。

博弈（ⅱ）80%针锋相对：列将以20%的概率按照表6—3寻找它的最大支付，同时以80%的概率采取“针锋相对”策略。他将在第一轮保持沉默，并在接下来的一轮中采取与行相同的策略。

博弈（ⅲ）10%针锋相对：列将以90%的概率按照表6—3寻找它的最大支付，同时以10%的概率采取“针锋相对”策略。他将在第一轮保持沉默，并在接下来的一轮中采取与行相同的策略。这与博弈（ⅱ）是一致的。

概率都是独立的，所以对于博弈（ⅱ），即使最可能出现的情形是10个人中有8个人选择针锋相对；其他情形，诸如7个或9个，甚至0个或是10个人选择针锋相对也是可能的。

【注释】

[1] 此处也存在一个合理的混合策略均衡：进入者，如果为强进入者，则进入，如果为弱进入者，则以0.2的概率进入；在位者，以0.2的概率选择合作。由此得到的支付仅为150，因此，如果均衡是混合策略中的一个，那么不了解信息将是有益的。

[2] 但是，在建模时回避问题实质并不像听起来那样于理不合，因为这可能表明：问题本身首先就是没有意义的。如果囚徒困境博弈的支付不同于经济学家构造的模型里的支付，那么连锁店悖论和它就没有什么关系。

第二部分　非对称信息

第 7 章 道德风险：隐藏行动

7.1 非对称信息模型分类

181 对于生活中出现的看似违背基础价格理论的行为，经济学家通常的第一反应是：一定是存在某种价格歧视。今天，我们对此有了一个新的答案：一定是存在某种非对称信息。在非对称信息博弈中，参与人史密斯知道参与人琼斯所不了解的某些信息。该现象出现在许多模型（包括价格歧视模型）里，因此我们对于涉及这种议题的众多结论也就感到毫不奇怪了。我们将会在以下五章中看到这些结论。

隐藏行动的道德风险（第 7 章和第 8 章）

在博弈开始时，史密斯和琼斯拥有对称信息并达成合同，但随后史密斯选择了琼斯观察不到的某个行动。信息是完全的。

逆向选择（第 9 章）

在博弈开始时，自然选择史密斯的类型，琼斯没有观察到自然的选择。随后史密斯和琼斯达成合同。信息是不完全的。

逆向选择和签约后隐藏知识下的机制设计（第 10 章）

琼斯为史密斯设计了一个能够引出史密斯的私人信息的合约。这种情形

可能发生在逆向选择模型中——史密斯在签订合同之前就知道他的私人信息——或者是签约后隐藏知识下（也称为隐藏知识下的道德风险），该模型中史密斯将会在签订合同之后知道他的私人信息。

信号传递与信息甄别（第11章）

在博弈开始时，自然选择史密斯的类型，琼斯没有观察到自然的选择。为了显示自己的类型，史密斯选择能被琼斯观察到的行动。如果在达成合同之前史密斯采取行动，则为信号传递；如果在达成合同之后他采取行动，则为信息甄别。信息是不完全的。 182

需要牢记在心的最重要的区别是：参与人达成合同时拥有对称还是非对称信息，以及他们的行动是否为共同知识。并不是所有前面我所使用的术语都是固定不变的。特别是，一些人或许会说，即使博弈开始时信息是完全的，在签约后隐藏知识模型中信息也会变得不完全。然而，该论点与第2章中提到的完全信息的定义相矛盾。

我们将大量使用委托—代理模型。通常“委托—代理模型”这一术语被应用于道德风险模型，因为由于代理法中研究的问题通常涉及因选择错误行为而违反规则的雇员，但该范式是可应用到以上所列的所有四个情境当中的。在该模型中两个参与人分别为委托人和代理人，他们通常是代表性个体。委托人雇用代理人执行任务，代理人在博弈中的某个时点具有关于他的类型、行动或外部世界方面的信息优势。通常假定在博弈的某个时点参与人之间能达成有约束力的合同（contract），也就是说，如果委托人观察到某个确定性产出，他必须承诺按照协议的金额支付给代理人。在这个模型的背后存在一个法庭，该法庭将对能够用公共信息证实其有某种程度的违约行为的参与人施加处罚。

委托人（或不知情者）（principal or uninformed player）是指具有粗糙信息分割的参与人。

代理人（或知情者）（agent or informed player）是指具有更细的信息分割的参与人。

图7—1给出了五种委托—代理模型框架下的博弈树。在每种模型中，委托人（P）提供给代理人（A）一个合同，代理人选择接受或拒绝。在某些模型中，自然（N）选择行动或者代理人选择努力水平、消息（message）或信号（signal）。道德风险模型是不确定完全信息博弈。委托人提供合同，在代理人接受后，自然在代理人执行的任务中加入噪声（noise）。在隐藏行动的道德风险中（图7—1（a）），代理人先于自然行动；在隐藏知识的道德风险中

（图 7—1（b）），代理人在自然之后行动，并向委托人传递关于自然行动的“信息”。

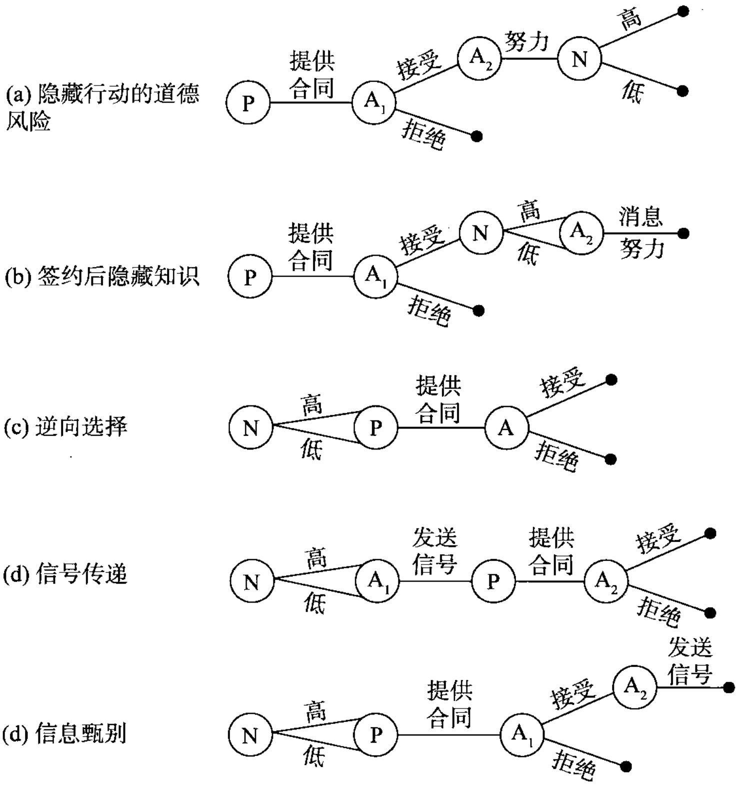


图 7—1　非对称信息模型的分类

逆向选择模型中包含不完全信息，因此自然首先行动并通常基于代理人执行任务的能力指定代理人的类型。在最简单的模型中，即图 7—1（c），代理人仅是接受或拒绝合同。假设代理人能向委托人发送“信号”，正如图 7—1（d）和图 7—1（e）所示，如果代理人在委托人提供合同之前发送信号，那么这种模型就是信号传递，反之就是信息甄别。“信号”不同于“消息”之处在于：信号不是无成本的声明，而是有成本的行动。一些逆向选择模型中包含不确定性，一些不包含。

我们接下来将详细讨论的是一个在雇主（委托人）雇用工人（代理人）时出现的问题。如果雇主了解工人的能力但不知道他的努力水平，这一问题是隐藏行动的道德风险。如果两个参与人开始都不知道工人的能力，但一旦工人开始工作他就能了解自己的能力，则这一问题为签约后隐藏知识。如果

工人开始时就知道自己的能力而雇主却不知道，这一问题是逆向选择。如果工人除了在开始时知道自己的能力之外，还在与雇主签约前就取得了各种证件，这一问题则是信号传递。如果工人为回应雇主所提供的工资而取得各种证件，则这一问题为信息甄别。 183

这五种类型还没有得到统一的认可。比如说，一些人认为我所提到的签约后隐藏知识、信息甄别与逆向选择实质上是相同的。例如，迈尔森（Myerson，1991，p. 263）建议将参与人选择错误行动的这类问题称为“道德风险”，而将参与人错误报告消息的这类问题称为“逆向选择”。或者称这两个问题为“隐藏行动”对“隐藏知识”。（将非对称信息分为隐藏行动和隐藏知识是由阿罗（Arrow，1985）提出来的，由哈特和霍姆斯特龙（Hart & Holmstrom，1987）注解的）。许多经济学家并没有意识到信息甄别与信号传递有什么区别，并且把这两个词交替混用。“信号”一词应用十分广泛，以至它经常用以指代任何传递信息的变量。多数人并未仔细考虑过上面给出的任何一个定义，但当我们深入探究各模型的性质时，区别的重要性就会变得明显了。对于擅长于综合而不是分析的读者而言，表 7—1 或许会对理清问题类型提供帮助。

表 7—1　　委托—代理模型的应用

184

	委托人	代理人	努力程度、类型和信号
	保险公司	投保人	防盗措施
隐藏行动的道德风险	保险公司	投保人	饮酒和吸烟
	地主	佃农	耕作劳动
	债权人	股东	项目风险
	住户	房东	房屋维护
	房东	住户	房屋维护
	社会	罪犯	盗窃数目
签约后隐藏知识	股东	公司经理	投资决策
	联邦储蓄保险公司	银行	贷款安全
逆向选择	保险公司	投保人	感染艾滋病病毒
	雇主	工人	技能
	雇主	工人	技能和教育
信号传递和信息甄别	买方	卖方	产品质量和保修
	投资者	股票发行者	股票价值和保留比例

7.2 节在生产博弈中讨论不确定性与非对称信息在隐藏行动的道德风险的

委托—代理模型中的作用。7.3 节说明不同的约束如何在均衡中得到满足。7.4 节集中讨论道德风险下的几个特别合同，并通过百老汇博弈的例子阐明最优合同的性质。

7.2 一个委托—代理模型：生产博弈

在最初的委托—代理模型中，委托人是经理而代理人是工人。在本节中我们将设计出一系列该类博弈模型，最后的一个模型将是标准的委托—代理模型。

定义产出的货币价值为 $q(e)$，它关于努力程度 e 是递增的。代理人的效用函数 $U(e, w)$ 关于努力程度 e 是递减的，关于工资 w 是递增的。委托人的效用函数 $V(q-w)$ 关于产出与工资的差额 $(q-w)$ 是递增的。

生产博弈

参与人

委托人与代理人。

博弈顺序

(1) 委托人提供给代理人工资 w。

(2) 代理人决定接受或者拒绝合同。

(3) 如果代理人接受，他付出努力水平 e。

(4) 产出等于 $q(e)$，其中 $q'>0$。

支付

如果代理人拒绝合同，则 $\pi_{代理人}=\overline{U}$，$\pi_{委托人}=0$。

如果代理人接受合同，则 $\pi_{代理人}=U(e, w)$，$\pi_{委托人}=V(q-w)$。

185 多数委托—代理模型中共同的假定是：委托人或代理人至少有一个是完全竞争者。其背后的含义是：(1) 其他委托人竞相雇用这个代理人，所以委托人的均衡利润等于零；(2) 许多代理人争相为这个委托人工作，所以代理人的均衡效用等于他能接受这份工作的最低效用水平，即**保留效用**（reservation utility）$\overline{U}$。由于工资过低时代理人可以选择失业，因此，即使在委托人为垄断者的情况下也会存在某个保留效用水平。

理解在生产博弈中委托人先行动假设的一个途径是许多代理人竞争一个委托人。行动顺序使得委托人可以提供一个“要么接受—要么放弃”（take-it-or-leave-it）的合同，从而使得代理人毫无谈判余地，这就使得他如同与许多

代理人竞争一样。然而，这仅仅是为了建模方便，原因在于代理人的保留效用可以设定在某个水平，委托人为了与其他委托人竞争将不得不向代理人提供该水平的支付。这样效用水平 $\overline{U}$ 就是使委托人能从最优合同中获得的最大支付利润下降到他与其他委托人竞争而得到委托人保留效用水平的那个保留效用，我们可以据此计算出 $\overline{U}$。在这里委托人的保留效用是零，但它也可根据模型的具体环境进行重新设定。同在 4.3 节所讨论的“要挟诉讼博弈”中一样，在选择谁提供合同时的主要考虑是避免卷入复杂的讨价还价子博弈之中。

均衡概念的精炼在本章不重要。信息是完全的并且不需要考虑完美贝叶斯均衡。子博弈完美这个概念是需要的，因为否则代理人将会拒绝任何不向他提供所有交易盈余的合同。但这样并不能得到重要的结果。

在下面不同的章节中我们将考虑八种不同形式的“生产博弈”。

生产博弈Ⅰ：充分信息

在第一种形式的生产博弈中，每个行动都是共同知识并且合同是函数 $w(e)$。

求解均衡的方法为：假定委托人必须给代理人一份可以接受的合同并预测到代理人对合同激励的反应，委托人从自身角度寻求最好的可行合同。委托人必须决定他想让代理人做什么以及为此给代理人提供怎样的激励。

要使代理人提供努力 e，必须给他支付数额 $\tilde{w}(e)$，其中 $\tilde{w}(e)$ 是代理人正好愿意接受合同的函数。所以

$$U(e,w(e))=\overline{U} \tag{7.1}$$

因此，委托人的问题为

$$\underset{e}{\text{Maximize}}\, V(q(e)-\tilde{w}(e)) \tag{7.2}$$

该问题的一阶条件为

$$V'(q(e)-w(e))\left(\frac{\partial q}{\partial e}-\frac{\partial \tilde{w}}{\partial e}\right)=0 \tag{7.3}$$

即 186

$$\partial\frac{\partial q}{\partial e}=\frac{\partial \tilde{w}}{\partial e} \tag{7.4}$$

从条件（7.1），根据隐函数定理（见 13.4 节），得到

$$\frac{\partial \tilde{w}}{\partial e} = -\left(\frac{\partial U/\partial e}{\partial U/\partial \tilde{w}}\right) \tag{7.5}$$

联立方程（7.4）与（7.5），可得

$$\left(\frac{\partial U}{\partial \tilde{w}}\right)\left(\frac{\partial q}{\partial e}\right) = -\left(\frac{\partial U}{\partial e}\right) \tag{7.6}$$

方程（7.6）的含义是：在最优努力水平 e^*，如果代理人保留他的额外努力所生产的所有边际产出带来的边际效用等于该努力水平所带来的边际负效用。

图 7—2 利用图形说明了该问题。代理人在努力—工资空间上拥有向上倾斜的无差异曲线，其原因在于当努力增加时为使效用不变，工资必须增加。委托人的无差异曲线也是向上倾斜的，其原因在于尽管他并不直接关心努力水平，但他确实关心产出水平，而产出水平又是随努力水平增加而递增的。委托人可以是风险规避的，也可以是风险中性的；由于图 7—2 展示的是努力的边际收益递减的技术（即凹函数，当 $q''(e)<0$ 时）。如果努力水平提高，额外努力生产出较少的额外产出，因此在不减少利润的情况下，工资就不能提高与以前同样的数量。

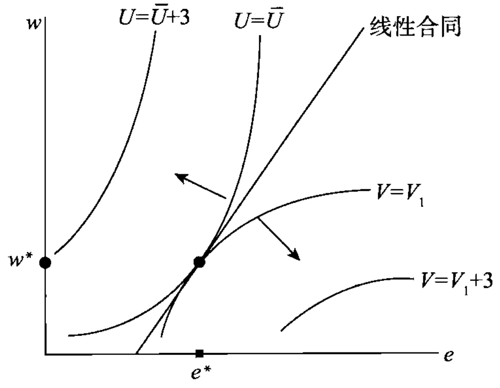


图 7—2　生产博弈 I 中的有效努力水平

在委托人完全竞争的情况下，委托人的利润为零，所以可以选择保留效用水平 $\bar{U}$ 使得在利润最大化的努力水平 e^*，$\tilde{w}(e^*)=q(e^*)$，或者

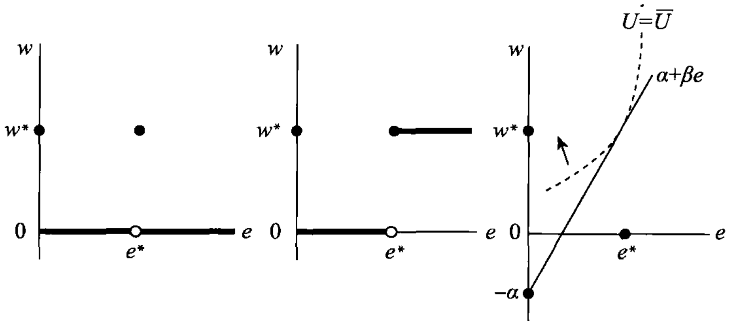
$$U(e^*, q(e^*)) = \bar{U} \tag{7.7}$$

委托人在无差异曲线 $U=\bar{U}$ 上选择使其利润最大化的点，在该点努力水平为 e^*，工资为 w^*。他必须设计一个可以引导代理人选择该努力水平的合同。在充分信息下，如图 7—3 所示，以下三个合同是同样有效的：
187

（1）**强制性合同**（forcing contract）设定 $w(e^*)=w^*$ 和 $w(e\neq e^*)=0$，该合同使得代理人有强烈的动机去选择 $e=e^*$。

（2）**临界值合同**（threshold contract）设定 $w(e\geq e^*)=w^*$ 以及 $w(e<e^*)=0$。这可以看做在低努力水平下的固定工资，在该合同下为零，加上当努力水平为 e^* 时的奖金。既然代理人不喜欢努力，他就会恰好选择 $e=e^*$。

（3）**线性合同**（linear contract）如图 7—2 和图 7—3（c）所示，设定 $w(e)=\alpha+\beta e$，其中 α 与 β 满足 $w^*=\alpha+\beta e^*$，并且合同线与无差异曲线 $U=\overline{U}$ 在 e^* 点相切。在图 7—3（c）中，代理人的无差异曲线与合同线在西北方向的最远交点为 e^*。



(a) 强制性合同　　(b) 临界值合同　　(c) 线性合同

图 7—3　在工资 w^* 下获得努力水平 e^* 的三个合同

现在让我们用特定的函数形式来表示生产博弈Ⅰ。假设代理人提供的努力水平 $e\in[0,\infty)$，并且产出等于

$$q(e)=100\times\log(1+e) \tag{7.8}$$

所以 $q'=100/(1+e)>0$ 和 $q''=-100/(1+e)^2<0$，假设代理人拒绝合同，设 $\pi_{代理人}=\overline{U}=3$ 和 $\pi_{委托人}=0$，反之如果代理人接受合同，设 $\pi_{代理人}=U(e,w)=\log(w)-e^2$ 和 $\pi_{委托人}=q(e)-w(e)$。

根据其付出的努力水平 e，代理人必须被支付工资数额 $\tilde{w}(e)$，其中 $\tilde{w}(e)$ 是使得代理人愿意参加的工资数额，也就是说，如（7.1）式所示，

$$U(e,w(e))=\overline{U}，所以\ \log(\tilde{w}(e))-e^2=3 \tag{7.9}$$

根据我们设定的特殊的函数形式，我们可以求解（7.9）式，得到工资函数：

$$\tilde{w}(e)=\mathrm{Exp}(3+e^2) \tag{7.10}$$

式中，我们使用 $\mathrm{Exp}(x)$ 表示欧拉常数（大约为 2.718）以 x 为指数的幂，因为惯例符号 e^x 可能会把 e 当作努力水平而混淆了。

方程（7.10）有意义。当努力水平增加时，工资为了补偿也必须增加，并且为了保持效用等于 3 要比指数形式增加得还多。

188 现在我们有一个必要工资函数 $\tilde{w}(e)$，我们能处理委托人问题，即

$$\underset{e}{\text{Maximize}}\, V(q(e)-\tilde{w}(e)) = 100\times\log(1+e)-\text{Exp}(3+e^2) \qquad (7.11)$$

问题的一阶条件是

$$V'(q(e)-\tilde{w}(e))\left(\frac{\partial q}{\partial e}-\frac{\partial \tilde{w}}{\partial e}\right)=0 \qquad (7.12)$$

所以对于我们的问题是

$$\left(\frac{100}{1+e}\right)-2e(\text{Exp}(3+e^2))=0 \qquad (7.13)$$

这是没有解析解的。[1]使用计算软件 Mathematica，得到 $e^*\approx 0.77$，由此，使用前面的公式，我们可以得到$q^*\approx 57$和 $w^*\approx 37$。支付是$\pi_{\text{代理人}}=3$ 和$\pi_{\text{委托人}}\approx 20$。

如果 $\bar{U}$ 足够高，委托人的支付将会为 0。如果市场对于代理人来说是竞争性的，这也是可能发生的，因为代理人的保留支付将会由 $\bar{U}=3$ 替代为其为其他委托人工作的效用。

为了得到 $e^*=0.77$，要运用各种类型的合同，如图 7—3 所示。

（1）**强制性合同**（forcing contract）设定 $w(e^*)=w^*$ 和 $w(e\neq 0.77)=0$。这里 $w(0.77)=37$ 以及 $w(e\neq e^*)=0$。

（2）**临界值合同**（threshold contract）设定 $w(e\geq e^*)=w^*$ 以及 $w(e<e^*)=0$。这里 $w(e\geq 0.77)=37$ 以及 $w(e<0.77)=0$。

（3）**线性合同**（linear contract）设定 $w(e)=\alpha+\beta e$，其中 α 与 β 满足 $w^*=\alpha+\beta e^*$，并且合同线与无差异曲线 $U=\bar{U}$ 在 e^* 点相切。无差异曲线的斜率是函数 $\tilde{w}(e)$ 的导数，即

$$\frac{\partial\tilde{w}(e)}{\partial e}=2e\times\text{Exp}(3+e^2) \qquad (7.14)$$

在 $e^*=0.77$ 处，(7.14) 式可以得到值 56（它只是巧合地接近值 $q^*=57$）。这是线性合同的 β。α 必须通过解 $w(e)=37=\alpha+56\times 0.77$ 得到，所以 $\alpha=-7$。

我们应该稍稍关注如果代理人被指定线性合同，他是否会选择我们希望的努力水平。我们构建这个合同是为了代理人愿意接受它，因为如果他选择 $e=0.77$，他的效用将是 3。但他是否倾向于选择更大或者更小的 e 并获得更多的效用呢？不，因为他的效用是凹的。这就使得他的无差异曲线是凸的，所以它的斜率总是增加的并且没有更好的无差异曲线与均衡合同线相切。

生产博弈的拟线性和其他函数形式

考虑下面三种形式的效用函数： 189

$$U(e,w)=\log(w)-e^2 \tag{7.15a}$$

$$U(e,w)=w-e^2 \tag{7.15b}$$

$$U(e,w)=\log(w-e^2) \tag{7.15c}$$

效用函数（7.15a）是我们刚才在生产函数Ⅰ中使用的形式，效用函数（7.15b）是一个**拟线性偏好**（quasilinear preference）的例子，因为偏好在一种商品上（这里是工资）是可分的且在另一种商品上是线性的。这种形式的效用函数通常用于避免财富的影响，否则在效用函数中的多个商品之间将发生相互影响。例如可分性意味着给代理人提供高工资并不能增加他的努力水平的边际负效应。此外，线性意味着给代理人提供高工资并不能改变工资和努力水平之间的替代关系——他的边际替代率，同函数（7.15a）的情形一样，一个富有的代理人更不愿意为了接受工资而提供更高的努力水平。在努力水平—工资图中，拟线性暗示无差异曲线是与努力水平轴（在图7—2中没有出现）平行的。

拟线性效用函数大多采用（7.15b）形式的函数，但是我的同事迈克尔·劳（Michael Rauh）指出，拟线性其实只是要求在特殊商品上（这里是 w）是线性的，因为是某些效用函数的单调变换。效用函数（7.15c）是（7.15b）的对数变换，它是单调变换，所以它也是拟线性的，这是因为边际替代率（在这里是至关重要的）不仅是我们通常采用的冯·诺伊曼-摩根斯顿函数，而且是一般效用函数的一个特征。因此效用函数（7.15c）也是拟线性函数，它仅是（7.15b）的单调变换。这是需要我们牢记的，因为效用函数在 w 上是凹的，这代表了一个风险厌恶的代理人。

现在回到生产博弈Ⅰ的解答，像我们用委托人最大化问题（7.11）得到结果那样，我们使用不一样的方法来得到相同的答案。我们将回到一般最优性条件（7.6），这里重复一下。

$$\left(\frac{\partial U}{\partial \tilde{w}}\right)\left(\frac{\partial q}{\partial e}\right)=-\left(\frac{\partial U}{\partial e}\right) \tag{7.6}$$

对于这三个效用函数，我们将继续使用与（7.8）式相同的产出函数 $q(e)=100\times\log(1+e)$，它的一阶导数是 $q'=100/(1+e)$。

运用效用函数（7.15a），$\frac{\partial U}{\partial \tilde{w}}=\frac{1}{w}$和$\frac{\partial U}{\partial e}=-2e$，所以（7.6）式变成

$$\left(\frac{1}{w}\right)\left(\frac{100}{1+e}\right)=-(-2e) \tag{7.16}$$

如果我们使用（7.10）式中的 $\tilde{w}(e)=\mathrm{Exp}(3+e^2)$ 替代 w，本质上我们就会得到与（7.13）式相同的方程。并且结果也是相同的：$e^* \approx 0.77$，$q^* \approx 57$ 和 $w^* \approx 37$，$\pi_{代理人}=3$ 和 $\pi_{委托人} \approx 20$。

运用效用函数（7.15b），$\frac{\partial U}{\partial \tilde{w}}=1$ 和 $\frac{\partial U}{\partial e}=-2e$，所以（7.6）式变成

$$(1)\left(\frac{100}{1+e}\right)=-(-2e) \tag{7.17}$$

190 注意式中没有 w，最优努力水平不再依赖于代理人的财富。因此，我们不需要用工资函数来求解最优努力水平。直接求解，我们得到 $e^* \approx 6.59$，$q^* \approx 203$。工资函数现在也不一样，解 $w-e^2=3$，得到 $w^* \approx 43$，$\pi_{代理人}=3$ 和 $\pi_{委托人} \approx 160$。（这些数字与我们用（7.15a）式得到的结果毫无可比性，但它们在生产博弈Ⅱ中很有用。）

运用效用函数（7.15c），$\frac{\partial U}{\partial \tilde{w}}=\frac{1}{w-e^2}$ 和 $\frac{\partial U}{\partial e}=\frac{-2e}{w-e^2}$，所以（7.6）式变成

$$\left(\frac{1}{w-e^2}\right)\left(\frac{100}{1+e}\right)=-\left(\frac{-2e}{w-e^2}\right) \tag{7.18}$$

并且有简化型 $\frac{100}{1+e}=2e$。 (7.19)

式中也没有变量 w，因而同效用函数（7.15b）一样，最优努力水平不依赖于代理人的财富。求解最优努力水平，得到 $e^* \approx 6.59$ 和 $q^* \approx 203$，同效用函数（7.15b）得到的一样。然而，工资函数不一样。现在是解 $\log(w-e^2)=3$，所以 $w=e^2+\exp(3)$，$w^* \approx 63$，$\pi_{代理人}=3$ 和 $\pi_{委托人} \approx 140$。

在讨论非对称信息博弈前，考虑另一种形式的充分信息博弈——生产博弈Ⅱ，是有益的。在生产博弈Ⅱ中，代理人，而非委托人，提出合同。

生产博弈Ⅱ：充分信息，代理人先行动

在该种形式中，每个行动均为共同知识并且合同为函数 $w(e)$。然而，博弈顺序如下所示：

博弈顺序：

（1）代理人提供给委托人工资合同 $w(e)$。

（2）委托人决定接受或者拒绝合同。

（3）如果委托人接受，代理人提供努力水平 e。

（4）产出等于 $q(e)$，其中 $q'>0$。

在该博弈中，代理人拥有全部讨价还价的能力，而不是委托人。因此，不再要求代理人几乎勉强接受合同，而是要委托人几乎勉强接受合同。委托人必定是获得零利润，所以有 $q(e)-w(e)\geqslant 0$。代理人通过强迫委托人刚好获得零利润来最大化自己的支付，所以有 $w(e)=q(e)$。用 $q(e)$ 代替 $w(e)$ 来解释这一约束，代理人在工资合同 $w(e)$ 下选择最优努力水平 e 的问题可以写成：

$$\underset{e}{\text{Maximize}}\, U(e, q(e)) \tag{7.20}$$

一阶条件为 191

$$\frac{\partial U}{\partial e}+\left(\frac{\partial U}{\partial q}\right)\left(\frac{\partial q}{\partial e}\right)=0 \tag{7.21}$$

既然当工资等于产出时，$\frac{\partial U}{\partial q}=\frac{\partial U}{\partial w}$，（7.21）式意味着

$$\left(\frac{\partial U}{\partial w}\right)\left(\frac{\partial q}{\partial e}\right)=-\left(\frac{\partial U}{\partial e}\right) \tag{7.22}$$

将该式与（7.6）式相比较，（7.6）式是当委托人有讨价还价能力时的生产博弈Ⅰ的最优性条件。生产博弈Ⅰ与Ⅱ中的最优方程是一样的。在两个模型中直觉也是一样的：因为提供合同的参与人占有所有的交易收益（对另一个参与人来讲有一个给定的保留支付），他将会选择一个有效的努力水平。这就要求由边际努力得来的工资的边际效用等于努力的边际负效用。

尽管最优方程的形式是相同的，但是最优努力水平可能不相同，因为除了某些特殊情况，使代理人在生产博弈Ⅰ中的保留支付等于他在生产博弈Ⅱ中的均衡支付，如果代理人具有全部的讨价还价能力，他最终将会得到更多的财富。如果效用函数不是拟线性的，财富的影响将会改变最优努力水平。

通过求解出（7.15）式的生产博弈Ⅰ的特殊函数形式的最优方程（7.22），我们来看看财富的影响。

讨论（7.15a）式中的效用函数

$$\left(\frac{1}{w}\right)\left(\frac{100}{1+e}\right)=-(-2e) \tag{7.23}$$

这与生产博弈Ⅰ中的（7.16）式相同，但现在 w 是不同的。它并不是通过强迫代理人接受他的保留支付，而是通过强迫委托人接受零利润得到的：$w=q$。因为 $q=100\times\log(1+e)$，我们可以用它替换 w，得到

$$\left(\frac{1}{100\times\log(1+e)}\right)\left(\frac{100}{1+e}\right)=2e \tag{7.24}$$

求解上式，就能得到 $e^*\approx 0.63$，因此 $q=w\approx 49$，并且 $\pi_{委托人}=0$ 和 $\pi_{代理人}\approx 3.49$。在生产博弈Ⅰ中，这种效用函数下的最优努力水平是 0.77，代理人的支付是 3。出现不同的原因是由于委托人具有讨价还价的能力使代理人的财富减少。实际上在生产博弈Ⅱ中代理人拥有更多的财富，并且因为他的工资的边际效用变得更低，他选择将他的部分额外财富（不是全部）转换为我们所谓的休闲—不再辛苦工作。

讨论（7.15）式中的拟线性效用函数（7.15b）和（7.15c），记住这两种函数有相同的最优性条件，即我们在（7.17）式和（7.19）式中得到的

$$\frac{100}{1+e}=2e \tag{7.19}$$

正如我们前面观察到的那样，w 在（7.19）式中没有出现，所以工资方程与 e^* 无关，但是在生产博弈Ⅱ中那意味着，和生产博弈Ⅰ中一样，$e^*\approx 6.59$ 和
192 $q^*\approx 203$。由于拟线性效用，有效的行动不依赖于讨价还价能力。当然，工资和支付会依赖于谁具有讨价还价能力。在生产博弈Ⅱ中，$w^*=q^*\approx 203$ 和 $\pi_{委托人}=0$。代理人的支付将比在生产博弈Ⅰ中的高，但它是不同的，当然，它也依赖于支付函数。对于效用函数（7.15b），它是 $\pi_{代理人}\approx 160$；对于效用函数（7.15c），它是 $\pi_{代理人}\approx 5.08$。

如果效用是拟线性的，有效的努力水平与哪一方拥有讨价还价能力无关。这是因为有效生产的收益是独立于收益如何分配的，只要博弈的每一方没有动机去放弃这种关系。这与科斯定理是一致的，该定理声明：在一般的条件下，行动将会是有效的并且与产权的分配无关（Coase，1960）。有效努力水平的这个性质意味着建模者可以对讨价还价能力进行自由的假定，只要该假定有助于将注意力集中于他所研究的信息问题上来。

因此，有三个理由可以解释为什么建模者经常使用“要么接受—要么离开”的合同。前两个原因已经在前面的生产博弈Ⅰ中讨论过了：（1）这种合同是为竞争性市场建模的一种好方法，和（2）如果毫无讨价还价能力的参与人的保留支付设定得足够高，这种合同将会导致与拥有更多讨价还价能力的参与人得到的保留支付相同的结果。拟线性效用提供了第三种原因：（3）如果效用是拟线性的，最优努力水平不依赖于谁拥有讨价还价能力，所以建模者有理由选择讨价还价能力的最简单的模型。

生产博弈Ⅲ：确定性下的固定工资

在该种博弈形式中，委托人无法将工资与努力水平或产出水平联系起来。

其背后的含义是委托人无法观察到努力和产出，因此信息是不对称的。

委托人不能观察到努力水平的情形是很现实的，但不能观测到产出的情形就令人感到奇怪，因为他总可以从自身获得的支付值中反推出产出水平。但由于合同必须可以由第三方，例如法庭执行，因此他不能基于产出支付工资这一点并不可笑。法学教授会对使用“不可执行合同”概念的经济学家表示不满。在法学院中，合同被定义为可执行的协议，大部分合同课是找到哪些协议是合同。实际上法庭并不能执行这样一份合同：“如果理发理得特别好”，顾客同意支付理发师 50 美元，否则就只支付 10 美元。同样，雇主可以指出雇员的马虎损害了产出，但是这并不意味着他能在法庭上作出证明。法院只能执行能被观察到的事件。生产博弈Ⅲ是非常适合的。当产出不是**可合同化的**（contractible）或**可证实的**（verifiable）时，将会导致与委托人观察不到产出时相同的产出。

生产博弈Ⅲ的结果是简单且无效的。如果工资非负，代理人将接受工作并提供零努力，所以委托人将提供零工资。

在生产博弈Ⅲ中，我们将会讨论“道德风险”，即因为委托人不能使用合同惩罚代理人而造成的代理人选择错误行动的问题。正如我们在后面将看到的，术语“道德风险”是一个旧的保险术语。理解它的一个很好的思路是对于委托人来讲它是一种风险：如果仅仅有道德约束而没有惩罚，委托人就无法信任代理人会按照他应该做的那样去做。或者你可以想象成对于代理人来讲是一种诱惑的情形，这对他的道德而言是一种风险。 193

正如我们将要讨论的那样，有时一份巧妙的合同就能够通过将工资与可以观察到的并与努力相关的事物，例如产出，联系起来克服道德风险。如果不存在与工资相联系的事物，代理问题将无法通过仔细设计合同而得到解决。如果说存在解决方法的话，那也将会是通过其他方式来实现，例如第 5 章所述的声誉机制或者重复博弈，或者通过道德方式，建立的模型中将道德作为代理人效用函数的一部分，如果他暗地里违反协议，那么效用函数将会产生负效用。然而在一般的情况下，存在着某些委托人可以据以提供工资的可合同化的变量（例如产出）。这是生产博弈Ⅳ讲述的问题。

生产博弈Ⅳ：确定性下基于产出的工资

在该种博弈中，委托人不能观测到努力但可以观测到产出，因此设定工资合同为 $w(q)$。

同生产博弈Ⅲ不同，现在委托人需要选定的不是一个数值 w，而是函数 $w(q)$。他的问题并不像在生产博弈Ⅰ中那么简单，在生产博弈Ⅰ中他选定函

数 $w(e)$。尽管努力不可观测，在这里我们仍可能得到有效努力水平 e^*。在开始时，如同在生产博弈Ⅰ中一样，委托人找到最优努力水平 e^*。该努力产生有效产出水平 $q^*=q(e^*)$。为了给代理人恰当的激励，当产出为 q^* 时合同必须给予他奖励。像以前一样，许多合同能被使用。例如，强制性合同可以是任何满足当 $e\neq e^*$ 时 $U(e^*, w(q^*))=\overline{U}$ 与 $U(e, w(q))<\overline{U}$ 的工资函数。

生产博弈Ⅳ表明，如果合同能基于某种可观测并且与努力完全相关的变量，努力的不可观测性本身将不会成为一个问题。如同生产博弈Ⅴ所示，真正的代理问题产生于完全相关不成立的情景。

生产博弈Ⅴ：不确定下基于产出的工资

在该种形式中，委托人不能观测到努力，但可以观测到产出，因此设定合同为 $w(q)$。然而，产出现在变为努力与自然状态 $\theta(\theta\in\mathbf{R})$ 的函数 $q(e, \theta)$。其中 θ 由自然根据概率密度 $f(\theta)$ 选择，该选择构成博弈的新的行动（5）。行动（5）刚好在代理人选择努力后进行，代理人知道自然会选择惩罚他马虎的行动，所以不能选择低努力（如果代理人能在自己行动之前观测到自然的行动，博弈将会变为“隐藏知识和隐藏行动的道德风险问题”）。

由于关于自然的状态的不确定性，在生产博弈Ⅴ中努力并不会与观测到的产出清晰对应起来。某种给定的产出可由几种不同努力水平的生产得到，所以基于产出的强制性合同并不必然会导出合意的努力水平。与生产博弈Ⅳ不同的是，在这里委托人不能根据 $q\neq q^*$ 推导出 $e\neq e^*$。进一步说，该合同甚至不能引导代理人选择 e^*，如果合同通过在 $q\neq q^*$ 时严厉惩罚代理人而诱使他选择 e^*，这样做对于委托人也是代价高昂的。代理人的期望效用必须保持在 $\overline{U}$，他才会接受合同，并且如果即使代理人作出了恰当的努力，当产出不
194 等于 q^* 时他会得到低工资，当产出等于 q^* 时他必须得到更高的工资以补偿以前的损失。如果代理人是风险规避的，工资的可变性要求他的期望工资高于以前的工资 w^*，其原因在于必须对额外的风险加以补偿。在激励与对风险的保险之间有一种权衡关系。

更技术化地，当 $q(e)$ 不是一一对应函数时，根据 θ 值的不同，一个单独的 e 值可能与几个不同的 q 值对应，此时道德风险就真正成为一个问题了。在这种情况下产出函数不再是可逆的；在不假定代理人采取均衡行为的情况下，委托人无法根据 q 精确地推导出 e 的值。

在生产博弈Ⅴ中，努力的不可观测性与缺乏可逆性同时存在，这使得在不产生额外成本的情况下，没有合同可以诱使代理人实施有效的努力水平。这些额外成本通常表现为强加给代理人的额外风险。在一些情况下它实际上

并不是一项成本，因为代理人是风险中性的，但是更一般地，委托人所能做到的最好的是对于努力的额外激励和风险平均的代理人的额外风险成本加以平衡。给定信息约束，我们仍然尝试找到最大化福利的有效合同。我们使用"最优"与"次优"来区分两种优化问题。

最优合同（first-best contract）*能够得到和当委托人和代理人拥有相同的信息集并且所有变量均可合同化时的最优合同相同的分配。*

次优合同（second-best contract）*是在给定信息不对称以及存在签约约束条件下的帕累托最优。*

最优合同与次优合同之间的福利差异即为代理问题的成本。

那么我们怎样找到一个次优合同呢？即使仅仅是在生产博弈V中定义策略空间也将是很棘手的，其原因在于委托人或许希望选择一个十分复杂的函数 $w(q)$。例如，因为最优合同可能不是线性的，在所有可能的线性合同中简单地最大化利润并不是很有用。当不能使用强制性合同时，由于数量众多的可能性合同的存在，找到最优合同成为没有一般答案的困难问题。本章的剩余部分将探讨处理该类问题的方法，尽管我们不能完全解决这个问题。

7.3 激励相容约束与参与约束

在生产博弈V中，在认识到代理人可以无成本地全然拒绝合同和合同必须激励代理人让其选择期望的努力的情况下，委托人的目标是效用最大化。在每一个道德风险问题中，都存在两个约束，分别被称为**参与约束**（participation constraint）与**激励相容约束**（incentive compatibility constraint）。从数学角度讲，委托人的问题为

$$\underset{w(\cdot)}{\text{Maximize}}\ EV(q(\tilde{e},\theta)-w(q(\tilde{e},\theta))) \qquad (7.25a)$$

约束条件为 195

$$\tilde{e}=\overset{\text{argmax}}{e}\ EU(e,w(q(e,\theta)))\text{（激励相容约束）} \qquad (7.25b)$$

$$EU(\tilde{e},w(q(\tilde{e},\theta)))\geq\overline{U}\text{（参与约束）} \qquad (7.25c)$$

激励相容约束考虑到代理人后行动的事实，所以合同必须引导他自愿选择合意的努力。参与约束，也被称作保留效用或**个人理性约束**（individual rationality），要求工人更乐于接受合同，而不是去享受闲暇、进行家庭生产或从事其他工作。

（7.25a）式是经济学家解决该问题的一种本能方式，但经济学家通常努力解决该问题，直到他们能够使用**一阶条件方法**（first-order condition ap-

proach）来完成。其中的困难并不仅在于进行最大化参与人选择的是工资函数而不是具体数值，因为控制理论或变分法能解决该类问题。真正的困难在于约束是非凸的，它们在工资函数空间中并不能像约束条件“$w\geqslant 4$”一样排除一个良好的凸点集，而是排除关于可能工资函数的一个复杂集合。

由格罗斯曼和哈特（Grossman & Hart，1983）发展出的一种被弗登伯格与梯若尔（Fudenberg & Tirole，1990）称作**三步法**（three-step procedure）的不同方法是，将注意力放到引导代理人选择特定行动的合同上来而不是直接求解利润最大化问题。该方法的第一步是对每个可能的努力水平找到引导代理人选择该水平的工资合同集合。第二步是找到对委托人而言以最低成本支持该努力水平的合同。第三步是在给定用第二步中得到的工资合同支持各种努力的前提下，选择最大化利润的努力水平。

为了支持努力水平 e，工资合同 $w(q)$ 必须满足激励相容约束与参与约束。从数学上看，结合步骤一和步骤二可以找到支持努力水平 $\tilde{e}$ 的最小成本 $C(\tilde{e})$。

$$C(\tilde{e})=\underset{w(\cdot)}{\text{Minimum}}\ Ew(q(\tilde{e},\theta)) \qquad (7.26)$$

约束条件为（7.25b）与（7.25c）。

步骤三考虑委托人的最大化支付问题（7.25a），并将它重新表达为

$$\underset{\tilde{e}}{\text{Maxmize}}\ EV(q(\tilde{e},\theta)-C(\tilde{e})) \qquad (7.27)$$

在找到以最低成本引导各种努力水平的合同后，委托人通过求解问题（7.27）找到最优努力水平。

将问题分步使得求解更为容易。然而，三步法给我们最重要的启示是，它让我们加深了对以下观点的认识：合同的目标是引导代理人选择特定的努力水平，这一非对称信息增加了引导成本。

7.4 最优合同：百老汇博弈

下面的博弈是受梅尔·布鲁克斯（Mel Brooks）的反传统影片《制作人》（*The Producers*）的启发而产生的。该博弈说明了最优合同的一种特征：有
196 时代理人的报酬不应该随着他的产出的提高而增加。投资人先给百老汇演出的制作人提供资金，而该演出可能成功也可能失败。制作人可以选择是否贪污投给他的资金，如果贪污他将得到 50 的直接收益。如果演出成功，在不贪污的情况下收益为 500，否则收益为 100。如果演出失败，由于对此追加投资毫无益处，这时收益均为－100。

百老汇博弈 I

参与人

制作人与投资人。

博弈顺序

(1) 投资人提供的工资合同 $w(q)$ 是以收益 q 为变量的函数。

(2) 制作人接受或拒绝合同。

(3) 制作人选择贪污或不贪污。

(4) 自然以相等的概率选择成功或失败。表 7—2 显示了最终收益 q。

表 7—2　　百老汇博弈 I：利润

		世界状态	
		失败 (0.5)	成功 (0.5)
努力	贪污	−100	+100
	不贪污	+100	+500

支付

制作人是风险规避的，投资人为风险中性的。如果制作人拒绝合同，他的支付为 $U(100)$，其中 $U'>0$ 并且 $U''<0$，同时投资人所得到的支付为 0。否则，

$$\pi_{\text{制作人}}=\begin{cases}U(w(q)+50)\text{，如果他贪污}\\U(w(q))\text{，如果他诚实}\end{cases}$$

$$\pi_{\text{投资人}}=q-w(q)$$

另一种表达产出的方式是将结果出现的概率置于表格中，行和列分别代表努力和产出，如表 7—3 所示。

表 7—3　　百老汇博弈 I：利润的概率

		利润			
		−100	+100	+500	总计
努力	贪污	0.5	0.5	0	1
	不贪污	0.5	0	0.5	1

投资人将观察到 q 可以等于−100、+100 和+500，所以制作人的合同最多会设定三个不同的工资：$w(-100)$，$w(+100)$，以及 $w(+500)$。制作人

从两个可能行动中获得的预期支付为

$$\pi(\text{不贪污})=0.5U(w(-100))+0.5U(w(+500)) \tag{7.28}$$

197 以及

$$\pi(\text{贪污})=0.5U(w(-100)+50)+0.5U(w(+100)+50) \tag{7.29}$$

激励相容约束为 $\pi(\text{不贪污})\geqslant\pi(\text{贪污})$，所以

$$\begin{aligned}&0.5U(w(-100))+0.5U(w(+500))\\ \geqslant&0.5U(w(-100)+50)+0.5U(w(+100)+50)\end{aligned} \tag{7.30}$$

同时参与约束为

$$\pi(\text{不贪污})=0.5U(w(-100))+0.5U(w(+500))\geqslant U(100) \tag{7.31}$$

投资人想要以尽可能低的成本使参与约束（7.31）得到满足。这意味着他们要尽可能少地将风险强加给制作人，因为当风险提高时，制作人将会要求更高的预期工资。理想状态为 $w(-100)=w(+500)$，此时合同提供完全保险。通常的代理权衡是在固定代理人的工资与对其提供激励之间作出的。这里不存在权衡问题，其原因在于该问题的特殊性质：这里存在一个只有当制作人选择不合意的行为时才会出现的结果。该结果为 $q=+100$，这意味着下面的**油锅合同**（boil-in-oil contract）同时提供了无风险工资与有效激励。

$$\begin{aligned}&w(+500)=100\\&w(-100)=100\\&w(+100)=-\infty\end{aligned}$$

在该合同下，当制作人不贪污时，他的工资为固定报酬 100，所以满足参与约束。由于该约束作为等式满足，所以它是紧的（binding），同时，如果放松该约束的话，投资人将会得到更高的支付。如果制作人确实贪污，他将以 0.5 的概率面对 $-\infty$ 的支付，所以激励相容约束得到满足。但是它不是紧的，因为该约束满足强不等式，并且将制作人来自贪污的收益稍微提高从而使约束稍微变紧时投资人的均衡支付并不会降低。注意在均衡时对投资人而言的合同成本为 100，所以他们总的期望支付是 $0.5\times(-100)+0.5\times(+500)-100=100$。该支付远大于零，因此演出是有利可图的。

油锅合同是**充分统计量条件**（sufficient statistic condition）的一个应用。该条件指出，对激励目的而言，如果代理人的效用函数中关于努力和货币是
198 可分离的，工资应该基于能最好地引导努力的任何事物，而选择产出水平可能仅仅是出于偶然（参见 Holmstrom（1979）和章末注 N7.2）。三步法的精

神是：委托人想要引导代理人选择适当的努力——不贪污，且他了解的关于代理人选择的信息是产出。在均衡中（尽管偏离均衡时并非如此），数据 $q=+500$ 与 $q=-100$ 包含相同的信息。这两种产出在代理人选择“不贪污”时的后验概率相同，所以两种情况下的工资应该相同。由于为形成后验概率，委托人需要对代理人的行为拥有某种信念，因此我们要强调“均衡”时这一点成立。否则，委托人将根本无法解释 $q=-100$。

比上述更温和的合同也是有效的。在均衡时使用两种工资水平：在产出 $q=100$ 时提供低工资 $\underline{w}$，对其余产出提供高工资 $\overline{w}$。可以通过参与约束与激励相容约束两个方程求解这两个未知量。为了找到尽可能温和的合同，建模者必须指定一个效用函数 $U(w)$。有趣的是，效用函数 $U(w)$ 对于找到第一种油锅合同而言并不是必要的。我们将其设定为

$$U(w)=100w-0.1w^2 \tag{7.32}$$

像这种二次效用函数，只有当自变量不太大时它才是递增的。但既然工资不会超过 $w=1\ 000$，那么对这个模型而言该效用函数就是合理的。将（7.32）式代入参与约束（7.31）中，求解全保险的高工资 $\overline{w}=w(-100)=w(+500)$，得到 $\overline{w}=100$ 和保留效用为 9 000。将其代入激励相容约束（7.30），得出

$$9\ 000\geqslant 0.5U(100+50)+0.5U(\underline{w}+50) \tag{7.33}$$

使用二次方程求解（7.33）式，得到 $\underline{w}\leqslant 5.6$（可能有四舍五入误差）。$-\infty$ 的低工资比所需要的最低工资严厉得多。

如果制作人与投资人都是风险规避的，风险分担将会改变均衡时的合同条款。为了达到分担风险，最优合同将提供的工资是 $w(-100)<w(+500)$。当产出为 +500 时，委托人会有一个更低的财富边际效用，所以他在产出为 +500 时比在产出为 −100 时更愿意支付额外的工资。

百老汇博弈Ⅰ中一个出人意料的地方是，产出为 −100 时的工资高于产出为 +100 时的工资。这说明委托人的目的是奖赏代理人的投入而不是产出。如果委托人仅仅因为产出高而支付更多的酬劳，那么他是在奖赏自然而非代理人。人们通常认为，为高产出支付高报酬是“公平的”，但“百老汇博弈Ⅰ”显示出该道德观念过于简单。较高的努力水平通常导致高产出，但并不总是这样。所以高报酬通常是一个不错的激励，但也并不总是对的，有时候为高产出支付低报酬可以有效地惩罚马虎。

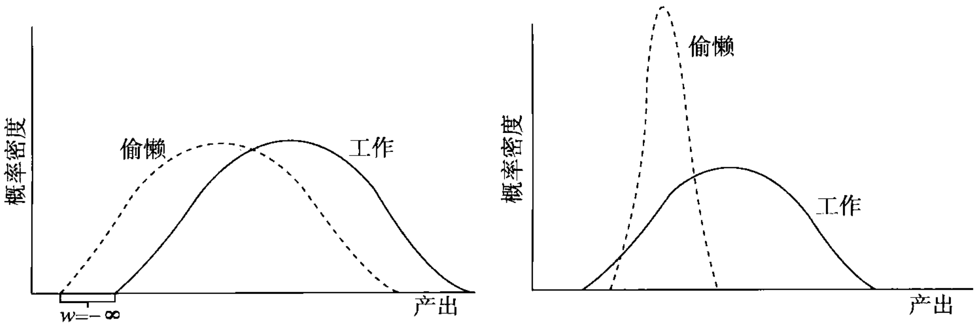
报酬与结果脱钩有着广泛的应用。贝克尔（Becker，1968）在刑法（criminal law）以及波林斯基和则（Polinsky & Che，1991）在侵权法（tort

law）方面的研究表明，如果社会的目标是将执行成本和有害行为保持在足够低的水平，就不应该仅简单地依据伤害来进行惩罚。很少实施的高惩罚将提供合适的激励，同时又保持低的执行成本，尽管极少数不幸的违反者将会受到与他们造成的危害远不成比例的惩罚。

199 油锅合同的另一个不低俗的名字是押头韵的**移动支持计划**（shifting support scheme）。之所以使用该名称，是由于该合同依赖于努力为最优时和非最优时的不同的产出分布支持。更简单地讲，最优努力下的可能结果集合必须不同于在其他努力水平下的可能结果集合。从而，某些产出毫无疑问地表明了生产者的贪污行为。对这些结果实施严厉惩罚可以取得最优效果，其原因是不贪污的制作人此时丝毫不用担心。

图 7—4（a）给出了一个产出为连续变量（而不只是三个数值）的模型的移动支持计划。如果代理人偷懒而不工作，可能出现某些低产出而不可能出现某些高产出。在行为改变使得产出支持也相应移动的情况下，油锅合同是有效的：对只在偷懒情况下可能的低产出提供 $-\infty$ 的工资。另一方面，图 7—4（b）中，支持仅在偷懒的情况下收缩，因此油锅合同是不合适的。当对代理人的惩罚数量有限制或者在偷懒情况下的集合是最优情况下集合的子集时，油锅合同的威胁未必会取得最优效果，但有时可以使用相似的合同。使这些合同有效的条件为：

1. 代理人不是完全风险规避的。
2. 存在一些结果，它在偷懒情况下发生的概率比较高，而在最优努力下发生的概率比较低。
3. 代理人能被严厉处罚。
4. 委托人将执行严厉处罚是可信的。



(a) 油锅合同有效　　(b) 油锅合同无效

图 7—4　代理模型中的移动支持

全盘出售

有时会使用的另一个最优合同是**全盘出售**（selling the store）。在该合同下，代理人支付给委托人固定费用，买下其全部产出。由于他保留了所有额外努力带来的额外产出的价值，从而成为**剩余索取者**（residual claimant）。这等价于委托人得到全保险，因为委托人的支付与代理人和自然的行动无关。

在百老汇博弈Ⅰ中，全盘出售的表现形式为：制作人付给投资人 100（$=0.5\times(-100)+0.5\times(+500)-100$），同时保留所有利润。缺点是：（1）制作人未必有能力承担支付投资人固定费用 100；（2）制作人或许是风险规避的，因此承担整个风险会招致巨大的效用成本。这两个缺陷恰恰是制作人开始时寻找投资人的原因。 200

伤害委托人与代理人的公共信息

通过修改百老汇博弈Ⅰ，我们能够表明拥有更多的公共信息是如何伤害两个参与人的。这也将提供一个使用信息集的小练习。我们将成功分为两个状态：小成功和大成功，如表 7—4 所示，概率分别为 0.3 与 0.2。

表 7—4　　百老汇博弈Ⅱ：利润

		世界状态		
		失败（0.5）	小成功（0.3）	大成功（0.2）
努力	贪污	−100	−100	400
	不贪污	−100	450	575

在最优合同下，

$$w(-100)=w(+450)=w(+575)>w(+400)+50 \tag{7.34}$$

上式成立的原因是，制作人为风险规避的，并且只有 $q=+400$ 能证明制作人贪污。最优合同必须做两件事：遏制贪污以及支付给制作人尽可能可预测的工资。为了使工资可预测，除非 $q=+400$，否则工资应保持不变。为了遏制贪污，当 $q=+400$ 时制作人必须受到惩罚。如同在百老汇博弈Ⅰ中一样，惩罚将不必是无限严厉的，并且用上面博弈里的方法同样能计算出最小有效惩罚。在均衡时投资人将支付给制作人 100 的工资，此时投资人所得的期望支付为 100（$=0.5\times(-100)+0.3\times450+0.2\times575-100$）。因此，对百老汇博弈Ⅱ而言，我们能够找到一个使得代理人不贪污的合同。

但是考虑一下当我们对信息集进行精炼时将会发生的情况。此时在代理

人采取行动前，他和委托人均了解到演出是否会大获成功。我们不妨称该博弈为百老汇博弈Ⅲ。在精炼信息集下，每个参与人的信息分割是：

({失败,小成功},{大成功})

而不是百老汇博弈Ⅰ和Ⅱ的原始的信息集：

({失败,小成功,大成功})

如果信息集被完全精炼为单元素信息集，对投资人来讲这是很有帮助的，原因在于他们此时能避免投资失败，同时他们能很容易发现制作人是否贪污。尽管如此，精炼并不能帮助投资人决定何时对演出投资。如果他们仍雇用制
201 作人并且以 100 的成本阻止他贪污，从投资于大成功的项目所得的收益为 $475(=575-100)$。但在给定信息集｛失败，小成功｝的情况下，从投资于演出所得的收益大约为 $6.25(=(0.5/(0.5+0.3))\times(-100)+(0.3/(0.5+0.3))\times 450-100)$，这仍为正数。所以，信息的改进对何时进行投资的决策没有帮助。

然而精炼确实毁灭了制作人的激励。如果他观察到｛失败，小成功｝，此时由于产出+400 不会出现，他将会随意贪污。如果他观察到｛大成功｝，他仍会避免贪污。但如果不贪污的制作人观察到｛失败，小成功｝的话，任何一个不对不贪污的制作人施加风险的合同都不能阻止他贪污。对于投资人来讲，能否以低于 6.25 的成本找到阻止制作人贪污的风险合同取决于制作人的风险规避程度。如果他是完全风险规避的，激励成本将超过 6.25，从而投资人将会放弃投资于预计会取得小成功的演出。由于更好的信息增加了对制作人选择不良行动的诱惑，因此它减少了福利。

注

N7.1 非对称信息模型分类

- 关于契约理论的有三本书，它们是马乔-斯塔德勒和佩雷兹-卡斯特罗 (Macho-Stadle & Perez-Castillo，1997) 的《信息经济学引论：激励和契约》(*Introduction to the Economics of Information*：*Incentives and Contracts*)、萨拉尼耶 (Salanie，1997) 的《契约经济学：初级本》(*The Economics of Contracts*：*A Primer*) 以及博尔顿和德瓦特里庞 (Bolton & Dewatripont，2005) 的《契约理论》(*Contract Theory*)。近期关于契约理论的实证研究的概述，参见 Chiappori & Salanie (2003)。

- 大量非数学化的理论文献从代理问题角度思考组织结构。参见 Alchian & Demsetz (1972), Fama (1980) 以及 Klein, Crawford & Alchian (1978)。米尔格罗姆和罗伯茨 (Milgrom & Roberts, 1992) 写了一本关于组织理论的著作，该书用 MBA 学生可以理解的技术阐述了委托—代理问题的已有成果。从以前那些聪明的经济学家那里也可以学到很多东西；在庇古的《福利经济学》第 12 版（*Economics of Welfare*, 1931/1920）第 3 部分的第 8 章饶有兴趣地讨论了计件工资优势问题，即当能力同努力一样可以区分时更容易诱导每个工人选择正确的努力。我推荐 Laffont & Martimort (2002) 的第 1 章（"经济思想史中的激励"）作为经济理论中激励历史的概述。
- 真实世界中的合同需要考虑代理人操纵和欺诈。如果管理人员会因每股高收益而受到奖赏，并且他能控制度量收益的会计师，他可能要求会计师调整收益，以使该收益高于他临界合同中的临界值。更糟糕的是，他可能在 1 月 1 日前削减价格，以提升销售来达到他的年终目标。詹森 (Jensen, 2003) 的文章《给人付钱使其说谎：预算过程的真相》("Paying People to Lie: The Truth about the Budgeting Process") 指出了这一点，并且指明线性合同中这类操纵行为比较少。
- 在经济学中有大量的"prinsipuls"。我发现下面的词形变化对记住拼写很有帮助："委托人主要的原则 (principal's principal principle) 是保持他的本金 (principal)"。更简单的是"本金是我的原则 (my pal)"，注意"al"的变化。
- "委托人"与"代理人"是法律术语，代理是法学中的重要领域。经济学家与律师研究的侧重点不同。经济学家关注努力：委托人是如何引导代理人工作的。律师关注渎职行为与第三方：委托人如何阻止代理人做错事，以及如果错误发生谁将承担责任。例如，如果酒店经理违背所有者的要求签订了订货合同，谁一定会对合同承担责任——所有 202
者还是作为第三方的供货商？
- 双边道德风险 (double-sided moral hazard)。正文中描述了单边道德风险。道德风险问题也可以是双边的，此时每个参与人都采取了其他人观测不到的行动，从而影响双方所得的支付。一个例子是对由原告和被告共同引起的民事过失的判定：如果一个粗心的汽车司机撞倒了一个粗心的行人，他们为此诉诸法律，法庭必须划分他们应承担的责任，而立法机构也必须通过立法使得他们更加细心。如表 7—1 所示，地主与佃农也面临着双边道德风险。

● 委托—代理模型中的一个习惯做法是，令一个参与人为男性而另一个为女性，以便“他”或“她”能被用来区分二者。我认为该做法只是劳心费神，因为性别对大多数模型而言无关紧要，这样做仅仅增加了读者的记忆负担。如果当读者看到“委托人”时本能地想到“男性”，这将不成为一个问题——但他们并非如此。

N7.2　一个委托—代理模型：生产博弈

● 正文中的模型使用“努力”作为代理人采取的行动，但努力被用来表示真实世界的许多行动。在美国，每年由雇员偷窃所带来的损失估计大约为 80 亿美元。雇主对此提供了举报奖，甚至有一家公司提供了为期一年的两周开奖一次的彩票而不是一次性支付。拥有 14 000 名雇员的芝加哥 Marshall Field's 百货商场在一年内发出了 170 份每次 500 美元的举报奖，抓获了近 500 名不忠的雇员（“Hotlines and Hefty Rewards: Retailers Step Up Efforts to Curb Employee Theft,” *Wall Street Journal*, September 17, 1987, p. 37）。

关于各种“低努力”的举例说明，参见“Hermann Hospital Estate, Founded for the Poor, Has Benefited the Wealthy, Investigators Allege”, *Wall Street Journal*, March 13, 1985, p. 4。该文描述了下述不当行为：公费旅游、高薪水、公款为女朋友买奢侈品、电话账单、对房地产佣金收取回扣以及投资朋友开的公司。非营利企业由于既缺少原则又缺少委托人，上述情况很普遍。由于相同的原因，政府也是如此。

● 生产博弈假定委托人憎恶努力。情况当真如此吗？人与人之间存在差异。我的父亲曾对我讲起过他当海军时的经历，当时水手们被要求通过刮掉松动的油漆以保持工作状态。我父亲认为这是一个消磨时间的好办法。而其他水手则在没人监督时停止工作而凭空远眺。不要去争论喜好问题。但是，即使努力在低水平时具有正的边际效用，在足够高的水平（或许包括有效水平）时它将带来负的边际效用。无论对教授还是水手，这都是事实。

● 假定委托人观测不到变量 θ（例如努力），但他确实观测到 t 与 x（例如产出与利润），根据霍姆斯特龙（Holmstrom, 1979）与沙威尔（Shavell, 1979）的著作，我们有下述结论（作者用自己的语言作了重新表述）：

充分统计量条件　如果相对于 x 而言 t 为 θ 的充分统计量，并且委

托人与代理人均有可分离的效用函数，则最优合同仅需是基于 t 的。

$$\text{如果对所有的 } t \text{ 与 } x\text{，} Prob(\theta|t,x) = Prob(\theta|t) \tag{7.35}$$

就称相对于 x 而言 t 是 θ 的**充分统计量**（sufficient statistic）。

这意味着，根据贝叶斯法则，我们有 $Prob(t, x|\theta) = Prob(x|t) Prob(t|\theta)$；也就是说，$x$ 依赖于 θ 仅仅是因为 x 依赖于 t 以及 t 依赖于 θ。

充分统计量条件与劳-布莱克威尔定理（Rao-Blackwell Theorem） 203
紧密相关（参见 Cox & Hinkley（1974，p. 258）），该定理表明：非策略性决策（nonstrategic decisions）的决策规则不应该为随机的。

格杰斯戴尔（Gjesdal，1982）指出，如果效用函数不是可分离的，该定理将不适用，这时随机化的合同或许是最优的。设想代理人有两个行动选择。委托人偏好减少代理人风险规避程度的行动 X，而不是增加风险规避程度的行动 Y。委托人可以提供一个随机化的工资合同，这样代理人可以选择行动 X，从而使自己的风险规避程度减小。随机化不是一个混合策略。委托人在高工资与低工资之间并不是无差异的；他偏好支付低工资，但我们允许他在博弈初期提供随机的工资。

N7.3 激励相容约束与参与约束

- 术语“个人理性约束”或许使用更为广泛，但“参与约束”更易于理解。既然在现代建模中每个约束都要求个人是理性的，该名称在一定意义上选择不当。
- **支付代理人超过其保留工资的收入**。如果许多代理人争相为委托人工作，这时只要仅有两个可能结果或只要代理人的效用函数对努力与工资是可分离的，则参与约束就会是紧的。否则，委托人可能会选择一个合同，在该合同下代理人获得的预期效用水平高于使他不辞职时所需的最低效用水平。原因是委托人不仅想让代理人继续工作，而且想让他选择高努力。
- 如果产出的分布满足**单调似然比性质**（monotone likelihood ratio property，MLRP），则最优合同对高产出给出高支付。令 $f(q|e)$ 为产出的概率密度。如果下式成立，则 MLRP 得到满足：

$$f(q'|e')f(q|e) - f(q'|e)f(q|e') > 0, \ \forall e' > e \text{ 且 } q' > q \tag{7.36}$$

或者，换句话说，如果 $e' > e$，则比率 $f(q|e')/f(q|e)$ 关于 q 是递增的。另一种表达方式为：如果 $q' > q$ 意味着 q' 是在 Milgrom（1981b）意义上比 q 更有用的消息，则 f 满足 MLRP。不太正式地讲，如果高努力与低努力的似然比随着观测到的产出而递增，则 MLRP 得到满足。

7.4 节中的百老汇博弈的分布违反了 MLRP，但正态、指数、泊松、均匀以及卡方分布均满足这一性质。随机优势并不一定意味着 MLRP。如果 0 单位努力以相等的概率产出 10 或 12，而 1 单位努力以相等的概率产出 11 或 13，则第二个分布具有随机优势，但 MLRP 并未得到满足。关于 MLRP 的更多内容，请参见第 13 章（拍卖）。

N7.4　最优合同：百老汇博弈

- 丹尼尔·阿斯奎思（Daniel Asquith）提出了百老汇博弈Ⅱ背后的思想。
- 特许经营（franchising）是在全盘出售与支付固定工资之间的折中。参见 Mathewson & Winter（1985），Rubin（1978）以及 Klein & Saft（1985）。
- 米尔利斯（Mirrlees，1974）的文章是“油锅合同”思想的一个早期出处。
- 百老汇博弈Ⅱ表明，改进的信息通过提高对一个参与人错误行为的激励而降低了福利。这与在非策略性保险中改进的信息有害的原因有所不同。假定史密斯正在向琼斯就明年可能危害琼斯庄稼的冰雹提供保险，这提高了琼斯的预期效用并使史密斯获得了利润。如果有人在保险合同签订之前使用某种方法预测到天气情况，参与人双方均会受到
204 损害。保险将不会达成，因为如果事先知道冰雹会损坏庄稼，史密斯将不会同意分担损失；如果事先知道冰雹不会出现，琼斯将不会进行保险。参与人双方都宁愿预先不知道结果。

习　题

7.1　委托—代理模型中的最优解（容易）

假定代理人的效用函数为 $U=\sqrt{w}-e$，其中 e 的取值为 0 或 1。令保留效用水平为 $\bar{U}=3$。委托人为风险中性的。基于产出的代理人工资是：如果产出为 0，工资为 $\underline{w}$；如果产出为 100，工资为 $\overline{w}$。表 7—5 给出了产出。

表 7—5　　**道德风险博弈**

努力	产出的概率		总计
	0	100	
低（$e=0$）	0.3	0.7	1
高（$e=1$）	0.1	0.9	1

（a）若代理人拥有企业，给出他的努力选择与效用水平。

（b）如果代理人为稀缺资源，因此委托人之间争相雇用代理人，给出在

充分信息下代理人的合同和效用水平。

(c) 如果委托人为稀缺资源，因此代理人争相为委托人工作，给出在充分信息下的合同。在这种情况下代理人的效用与委托人的利润分别为多少？

(d) 假定$U=w-e$。如果委托人为稀缺资源，因此代理人争相为委托人工作，试给出当委托人无法观测努力水平时的合同（允许工资为负数）。在这种情况下代理人的效用与委托人的利润分别为多少？

7.2 委托—代理问题（中等难度）

假定代理人的效用函数为$U=\sqrt{w}-e$，其中e的取值为0或7，并且保留效用$\overline{U}=4$。委托人为风险中性的。基于产出的代理人工资是：如果产出为0，工资为$\underline{w}$；如果产出为1 000，工资为w。仅有代理人观测到自己的努力。委托人争相雇用代理人。表7—6给出了产出。

表7—6　低努力与高努力下的产出

努力	产出的概率		总计
	0	1 000	
低 ($e=0$)	0.9	0.1	1
高 ($e=7$)	0.2	0.8	1

(a) 为了取得高努力的激励相容约束，参与约束与零利润约束各是什么？

(b) 如果工资水平固定并且与产出或努力水平无关，给出此时的效用水平。 205

(c) 最优合同是什么？代理人的效用水平是多少？

(d) 给出充分信息下代理人的效用水平。在非对称信息下，代理成本（损失的效用）占代理人得到的效用的百分比是多少？

7.3 为什么企业家全盘出售（中等难度）

假定代理人的效用函数为$U=\sqrt{w}-e$，其中e的取值为0或2.4，并且保留效用为$\overline{U}=7$。委托人为风险中性的。基于产出的代理人工资是：$w(0)$，$w(49)$，$w(100)$及$w(225)$。表7—7给出了产出。

表7—7　企业家全盘出售

方法	产出的概率				总计
	0	49	100	225	
安全的 ($e=0$)	0.1	0.1	0.8	0	1
有风险的 ($e=7$)	0	0.5	0	0.5	1

(a) 如果代理人拥有企业，给出他的努力选择与效用水平。

(b) 如果代理人为稀缺资源，因而委托人争相雇用他们，给出在充分信息下代理人的合同和效用水平。

(c) 如果委托人为稀缺资源，因此代理人争相为委托人工作，给出在充分信息下的合同。在这种情况下代理人的效用与委托人的利润分别为多少？

(d) 如果代理人为稀缺资源，因而委托人争相雇用他们，给出当委托人不能观测到努力时的合同。在这种情况下代理人的效用与委托人的利润分别是多少？

7.4 权威（中等难度）

销售人员必须决定在他自己的时间内以某种程度的努力去了解一个潜在的消费者。如果他提供努力 X，那么他会导致效用成本 $X^2/2$。以概率 X，他会得到这个消费者，使自己的收入增加 V；以概率 $(1-X)$，他会失去这个消费者，对他来讲就会从他的收入中减去 L。在任何情况下老板都能从销售中得到收益 B。这些数值的排列顺序是 $V>L>B>0$。老板和销售人员有相同的讨价还价能力，并且无成本地相互进行单边转移支付。

(a) 给出最优努力水平 X_a。

(b) 如果老板有权阻止销售人员将产品卖给这个消费者，但不能强迫他卖给消费者，这时 X 的值是多少？

(c) 如果销售人员有权决定是否卖给这个消费者并有能力以一个较高的价格出售，试给出他的努力水平。

(d) 给出前三个问题的努力水平 X_a，X_b，X_c 的排序。

7.5 工人的努力水平（容易）

工人可以选择“细心”或“粗心”两种努力水平，二者分别以 0.25 和 0.75 的概率产生错误。他的效用函数为 $U=100-10/w-x$，其中 w 为工资
206 水平，在他选择“细心”的情况下，x 取值为 2，否则，取值为 0。是否发生错误是可合同化的，但努力却无法合同化。风险中性的雇主们争相雇用该工人。如果错误发生，工人的产出价值为 0；否则，价值为 20。在该题中任何部分都不需要进行计算。

(a) 如果工人犯了错误，他会被付给工资吗？

(b) 如果工人不犯错误，他会被支付更多吗？

(c) 如果雇主也是风险规避的，合同将如何受到影响？

(d) 现在假设存在第三种可能，即产出为 19 的“小错误”。当“粗心”出现时，它以概率 0.1 出现；当“细心”出现时，它以概率 0 出现。此时将

是一个怎样的合同？

7.6 超级计算机销售员（中等难度）

如果销售员提供高努力水平，那么他就会在今年以 0.9 的概率卖出一台超级计算机。如果他提供低努力，那么他成功的概率是 0.5。如果销售完成，公司将会获得 200 万美元的利润。如果销售员提供低努力水平，他将会得到 5 万美元的工资；如果他提供高努力水平，他将会得到 7 万美元的工资。销售员是风险中性的，并且他的效用关于努力和工资是可分离的。（设以千美元为单位，所以，7 万美元写成 70，200 万美元写成 2 000。）

（a）证明高努力是最优效率的。

（b）低努力下成功的概率为多高时，它对于高努力来讲是无效率的？

（c）如果你不能监管销售员，也不能视成功的情况来支付他工资，那么你该怎么办？

（d）如果你可以视成功来确定工资。如果销售员做成交易，工资是 S；如果做不成，工资是 F。S 和 F 满足两个条件：参与约束和激励相容约束。S 和 F 分别是多少？

（e）给出达到社会最优的合约。

（f）假设销售员是风险规避的，他的关于工资的效用是 $\log(w)$。给出参与约束和激励相容约束。

（g）不需要求解最优合同，说明与（e）中风险中性的销售员情况相比，当假设效用函数是 $\log(w)$ 时，最优合同下公司的期望收益会上升、下降还是不变？

（h）不需要求解最优合同，说明与（e）中风险中性的销售员情况相比，当假设效用函数是 $\log(w)$ 时，最优合同下 S 和 F 的差距会上升、下降还是不变？

7.7 最优补偿（容易）

代理人的效用函数是 $U=(\log(w)-e)$。如果不同的（产出，努力）对有如表 7—8 所示的概率，那么他的补偿计划是什么？

表 7—8　　产出和努力

		产出		
		1	2	100
努力	高	0.5	0	0.5
	低	0.1	0.8	0.1

(a) 给代理人支付恰好等于他的产出。

(b) 为产出 1 和 100 支付相同的工资。

(c) 在产出为 100 时代理人应该得到比产出为 1 时更多的工资，但产出为 2 时应该得到更低的工资。

(d) 上面三种情况都不对。

7.8 努力和产出，多种选择（容易）

已在表 7—9 中列出其各种情况的代理人的效用函数是 $U=w+\sqrt{w}-\alpha e$，他的保留效用是 0。委托人竞相雇用代理人，他的保留效用是 0 。委托人是风险中性的。

表 7—9　　产出和努力

		努力	
		低（$e=0$）	高（$e=5$）
产出	$y=0$	0.9	0.5
	$y=100$	0.1	0.5

1. 如果 $\alpha=2$，然后如果委托人可以观测到代理人的行动，则代理人的均衡效用位于区间

(a) $(-\infty, 0.5]$

(b) $[0.5, 5]$

(c) $[5, 10]$

(d) $[10, 40]$

(e) $[40, +\infty)$

2. 如果 $\alpha=10$，然后如果委托人可以观测到代理人的行动，则代理人的均衡效用位于区间

(a) $(-\infty, 0.5]$

(b) $[0.5, 5]$

(c) $[5, 10]$

(d) $[10, 40]$

(e) $[40, +\infty)$

3. 如果 $\alpha=5$，然后如果委托人可以观测到代理人的行动，则代理人的均衡努力水平是

(a) 低

(b) 高

(c) 混合均衡努力，有时高，有时低

4. 如果 $\alpha=2$，然后如果委托人观测不到代理人的行动，代理人得到固定工资，则他的工资位于区间

(a) $(-\infty, 2]$

(b) $[2, 5]$

(c) $[5, 8]$

(d) $[8, 12]$

(e) $[12, +\infty)$

5. 如果代理人拥有公司且 $\alpha=2$，那么他的效用要比他为委托人工作并且委托人可以观测到他的行动的情况高还是低? 208

(a) 高

(b) 低

(c) 相同

6. 如果代理人拥有公司且 $\alpha=2$，则他的均衡效用位于区间

(a) $(-\infty, 0.5]$

(b) $[0.5, 5]$

(c) $[5, 10]$

(d) $[10, 40]$

(e) $[40, +\infty)$

7. 如果代理人拥有公司且 $\alpha=8$，则他的均衡效用位于区间

(a) $(-\infty, 0.5]$

(b) $[0.5, 5]$

(c) $[5, 10]$

(d) $[10, 40]$

(e) $[40, +\infty)$

7.9 雇用律师（容易）

具有凹效用函数 $U(X)$ 的一人公司雇用律师控告顾客违约。律师是风险中性和厌恶努力的，有关于努力的凸的负效用。关于最优合同，你能说些什么？如果这样一个合同是合法的，那么它的现实问题是什么？

7.10 约束（中等难度）

代理人的效用函数是 $U=\log(w)-e$，其中 e 的取值为 0 和 4，并且保留效用 $\overline{U}=4$。委托人为风险中性的。基于产出的代理人工资是：如果产出为 0，

工资为 $\underline{w}$；如果产出为 10，工资为 $\overline{w}$。仅有代理人观测到自己的努力。委托人争相雇用代理人。产出如表 7—10 所示。

表 7—10 **产出函数 I**

努力	产出的概率 0	产出的概率 10	总计
低（$e=0$）	0.9	0.1	1
高（$e=4$）	0.2	0.8	1

给出获得高努力的激励相容约束和参与约束。

7.11 再论约束（中等难度）

代理人的效用函数是 $U=\log(w)-e$，其中 e 的取值为 1 和 3，并且保留效用为 $\overline{U}$。委托人为风险中性的。基于产出的代理人工资是：如果产出为 0，
209 工资为 $\underline{w}$；如果产出为 100，工资为 $\overline{w}$。仅有代理人观测到自己的努力。委托人争相雇用代理人。产出如表 7—11 所示。

表 7—11 **产出函数 II**

努力	产出的概率 0	产出的概率 100
低（$e=1$）	0.9	0.1
高（$e=3$）	0.5	0.5

如果委托人只能观测到产出而观测不到努力，给出满足最优合同的条件。你不需要求解最优合同，给出正确的方程即可。如果条件是紧的，不要给不等式，把它写成等式。

道德风险：第 7 章的课堂博弈

210 每一个学生像 Apex，Brydox 或其他公司的销售人员一样工作，每一年都重新选择。每一年你都可以选择你的努力水平，而公司是观测不到你的努力水平的。你的销售等于 $Q=2+e+u$，其中 u 可以等概率地取值 -2 和 $+2$。

如果你不为任何一家公司工作，你的支付是 600，否则它是关于你的工资和努力的一个函数：

$$支付 = V(w) - e^2 \tag{7.37}$$

其中 $V(w)$ 如下表所示：

w	<0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	>13
$V(w)$	0	0	100	190	370	540	690	830	930	1 000	1 020	1 030	1 038	1 044	1 046	1 046

你只有有限的时间来选择合同和努力，如果你不在截止日期前上交你的选择，那么你的默认的选择就是不为任何一家公司工作（如果你不选择一个雇佣者）和 $e=0$（如果你不选择努力）。

线性合同（linear contract）的表现形式是：

$$w(Q) = \alpha + \beta Q \tag{7.38}$$

式中，w 的值不是整数，应进行四舍五入。

临界值合同（threshold contract）的表现形式是：

$$如果\ Q \geqslant \beta,\ w(Q) = \alpha,\ 否则\ w = 0 \tag{7.39}$$

监管合同（monitoring contract）的表现形式是：

$$\begin{aligned} &w(Q) = \alpha,\ 除非以\ e < \beta\ 的概率被发现; \\ &否则\ w = 0, 监管的概率 = \gamma \end{aligned} \tag{7.40}$$

【注释】

[1] 注意我们并不需要运用委托人是风险中性的即 $V'=1$ 来得到（7.13）式。在这个确定的模型中，最优努力水平并不依赖于委托人的风险厌恶程度。

第 8 章
道德风险高级专题

211 道德风险需要用两章来讲。正如我们接下来将要讨论的，逆向选择也要占用两章，因为信号是逆向选择模型的改进版。但是在研究激励时，道德风险或许是经济学中一个更重要的核心概念。在这一章我们将讨论第 7 章中各种范例混杂的情景，在这些情形中，第 7 章中通过满足参与约束和激励相容约束来对努力提供正确激励的范例都没有得到直接应用。

本章首先讲效率工资——当激励相容很重要，以至委托人愿意放弃紧的参与约束的时候提供的高工资。8.2 节讨论锦标赛——两个代理人之间的竞争能够简化最优合同的情形。在讨论了大量的题外话后，接下来我们要讨论关于激励合同的一个大问题：当仁慈不仅是善良的而且有利润的时候，委托人是怎样控制自己不要对任性的代理人太仁慈的？8.3 节考虑一些解决代理问题的制度，8.4 节表明契约惩罚制度通常是失效的，因为两个参与人都愿意重新商谈合同。8.5 节对保险中道德风险的典型问题放弃代数范例而追求图表方法。8.6 节考虑其他特殊的情形：由许多观测不到努力的代理人生产一种可以观测到的产品的团队问题。8.7 节以代理人在多项任务之间分配他的努力的多任务代理问题结束。

8.1 效率工资

激励合同的目标是不是如果代理人选择错误行动就对他进行惩罚？不完全是。更准确地说，目标是在正确行动与错误行动的代理人的期望支付之间

造成差异，可以是“大棒”加“胡萝卜”政策。这一点很重要，需要我们记住，因为有时候惩罚完全无效。考虑下面的博弈。

幸运执行官博弈

212

参与人

公司和执行官。

博弈顺序

1. 公司提供给执行官合同，合同依赖于利润 q 的支付 $w(q)\geqslant 0$。
2. 执行官接受合同，或拒绝合同并且他的保留效用是 $\overline{U}=5$。
3. 执行官提供努力 e，e 的取值为 0 或 10。
4. 自然依据表 8—1 选择利润。

支付

两个参与人都是风险中性的。公司的支付是（$q-w$）。如果执行官接受合同，那么他的支付是（$w-e$）。

表 8—1　幸运执行官博弈的产出

努力	产出的概率		
	0	400	总计
低（$e=0$）	0.5	0.5	1
高（$e=10$）	0.1	0.9	1

因为两个参与人都是风险中性的，你可能会认为通过全盘出售，将全部风险让代理人承担，能够得到最优合同。如果执行官提供高努力，其参与约束是

$$0.1[w(0)-10]+0.9[w(400)-10]\geqslant 5 \tag{8.1}$$

所以他的期望工资必须等于 15。激励相容约束是

$$0.5w(0)+0.5w(400)\leqslant 0.1w(0)+0.9w(400)-10 \tag{8.2}$$

可以重新写为 $w(400)-w(0)\geqslant 25$。所以执行官对于高产出和低产出的工资差距必须最少等于 25。

满足两个约束的合同是 $\{w(0)=-345,\ w(400)=55\}$。但这个合同是不可行的，因为博弈要求 $w\ (q)\geqslant 0$。这是一个普通和真实的**破产约束**（bankruptcy constraint）的例子。委托人不能惩罚代理人，他拿走的不能比代理人最初拥有的更多——在幸运执行官博弈中是 0。（如果执行官最初的财富是正

的，或许有些帮助，这或许就是为什么公司倾向于雇用富人而不是穷人的原因。）最坏的情况是委托人解雇代理人。该做些什么呢？

213 所要做的是用“胡萝卜”代替“大棒”并且放弃参与约束为等式。约束(8.2)所需要的是在高工资和低工资之间有 25 的差距。设定尽可能低的低工资，公司可以使用合同 $\{w(0)=0, w(400)=25\}$ 来引导高努力。然而，执行官的期望效用是 $0.1\times 0+0.9\times 25-10=12.5$，是他保留效用 5 的 2 倍多。在这个均衡中他非常高兴——但是公司也有理由高兴。与如果它支付一个更低的期望工资将得到 $195(=0.5\times(0-5)+0.5\times(400-5))$ 相比，公司的支付是 $337.5(=0.1\times(0-0)+0.9\times(400-25))$。因为足够高的惩罚是不可行的，所以公司采用更高的奖励。

当然，执行官们会排队争取为这家公司工作，因为他们在这里可以得到期望工资 12.5 而在其他地方只能得到 5。如果存在当前执行官任期结束而他的职位空闲的机会，潜在的成功者愿意拒绝其他职位来适时地得到这个非同一般的有吸引力的职位。因此，这个模型产生了失业。**效率工资**（efficiency wage）的思想有两部分：雇佣者支付比需要的更高的工资来吸引工人，工人愿意失业来得到效率工资职位的机会。

夏皮罗和斯蒂格利茨（Shapiro & Stiglitz，1984）详细说明了非自愿失业如何可以由委托—代理模型来解释。当所有工人都以市场工资被雇用时，那些被发现偷懒并被解雇的工人能马上找到一份同样的工作。解雇是不起作用的，同时像下油锅这样起作用的惩罚被法令排除在策略空间之外。贝克尔和施蒂格勒（Becker & Stigler，1974）建议使用工人岗位绩效债券，并且盖弗和齐默尔曼（Gaver & Zimmerman，1977）说明了在建设旧金山电气火车(BART)地铁系统时，工人是多么需要 100%的绩效债券。“保险公司”通常会按照工人净资产的 5～20 倍发行债券，并收取每年 0.6%的费用。这里，接受工作时工人吸收债券的能力是个关键问题。如果工人比较贫穷，那么该项措施就不实用。此时，没有债券或油锅措施，工人将选择低努力并得到低工资。

为了引导工人不偷懒，企业可能给他提供一个超过市场出清工资的额外费用。如果他被发现偷懒而遭解雇的话，他将失去这个额外费用。但如果一个企业发现提高工资有利可图，则所有企业都会这样做。或许有人认为在工资水平再度相同后，不偷懒的激励将会消失。但当一个企业提高工资后，它的劳动力需求将会降低，而当所有企业提高工资后，劳动力市场需求将会降低，从而出现失业。即使所有企业支付相同的工资，一个工人也有不偷懒的激励。这时如果工人被解雇他将会失业，同时即使他有一定的概率能再次找到工作，但失业率足够高，使得工人不愿冒被发现的风险去偷懒。即使在该

均衡中劳动的边际收益与工资相等，但由于它超过了努力的负效用，因而该均衡不是最优效率的，但从次优的意义上讲它是有效的。通过遏制偷懒，在工厂门口徘徊的饥饿的工人执行着一项对社会来说有价值的功能（但他们不能因此得到支付）。虽然效率工资模型能解释非自愿失业，但它不能解释失业的周期变化。失业要控制造成大幅波动和商业周期的道德风险是毫无理由的。

通过支付高工资来提高解雇威胁的思想早已有之，甚至可以追溯至《国富论》（Smith，1776，p. 207）。夏皮罗和斯蒂格利茨的创新之处在于提出了效率工资导致失业现象这一观点。这些企业行为看似十分矛盾。它们支付给 214
工人高额工资以吸引他们，同时拒绝愿意以低工资工作的人。该理论能否解释为什么合格的求职者未获成功，而业绩平平的经理人却长居其位？雇主不愿意雇用具有天分的人，因为这样的人在因偷懒而被解雇后能够另谋出路，而且在某些工作中可信任性比天分更重要。该理论也能够解释有时在美国南部发生的奴隶主给他们的奴隶发工资这个自相矛盾的现象。奴隶主在法律义务上不需要向他的奴隶支付任何东西，但如果他想从奴隶那里得到想要的细心的努力——对于一些工种如摘棉花来说，细心的努力不像另一些工种如木工中那样重要——奴隶主就要提供正的激励。

以上讨论应该使你回忆起 5.4 节中的产品质量博弈。在该例中，为了给卖方恰当行为的激励，买方支付高于保留价格的金额，这时选择不良行动的卖方将会受到终止关系的惩罚。该类模型的关键特征是，由合同规定的对不良行为的惩罚数量受到限制，并且在均衡中参与约束不是紧的。另外，尽管幸运执行官博弈仅在一段时期内起作用，但包括生产质量博弈在内的许多种博弈依赖于存在重复博弈（无限重复，或者避免连锁店悖论）。重复考虑到这样一种情形，在该情形中，代理人可以通过像偷盗或低质量等不良行动在一段时期内大大增加他的支付，但是他会避免这样做，因为他会丧失他的位置和未来的效率工资支付。

8.2 锦标赛

如果在博弈中相对表现很重要，则该博弈被称为**锦标赛**（tournaments）。锦标赛类似于拍卖，但与拍卖的不同之处在于，在锦标赛中失败一方的行为将直接影响博弈结果，而不仅仅只是产生金钱的影响；而在锦标赛中失败的代理人的努力也会使委托人受益，但是拍卖中的竞价失败者不会使卖者富有。（正如我们在第 13 章将要讨论的，全支付拍卖是建模锦标赛的一种方式。）同拍卖一样，当委托人想从代理人处获取信息时，锦标赛尤其有用。因为在由委托人设计的锦标赛中，代理人自己提供工资标准，因而它也被称为**标尺竞**

争（yardstick competition）。

法雷尔（Farrell，2001）使用锦标赛来解释为什么“懈怠”会成为与垄断相联系的福利损失的主要来源。过去对此的解释常常基于错误的推理。通常的论断是，由于垄断者不必像竞争性企业那样为了生存而最大化利润，因而垄断者是无效的。这依赖于企业关心生存而不是利润这一值得怀疑的假定。法雷尔提供了一个更弱的假设：尽管垄断厂商的股东最大化利润，但经理却最大化他们自身的效用，在没有其他企业的运行作参照的情况下，道德风险问题将会很严重。

假定企业 Apex 公司有两种可能的生产技术：快速和精细。对于每种技术，自然独立地以概率 θ 选择生产成本 $c=1$，以 $1-\theta$ 的概率选择生产成本 $c=2$。经理可以随机选择一种技术，也可以以对他来讲为 α 的效用成本去调查两种技术的成本。股东可以观察到最终的生产成本，但不能观察到经理是否做过调查。如果他们观察到经理选择快速并且生产成本 $c=2$，他们无法确定这是经理在没有调查情况下的选择，还是在调查了两种技术并发现它们均为高成本情况下的选择。工资合同是基于股东可观测的变量，所以其形式为
215 (w_1, w_2)，其中当 $c=1$ 时工资为 w_1，当 $c=2$ 时工资为 w_2。在不调查的情况下经理的效用为 $\log(w)$，在调查的情况下为 $(\log(w)-\alpha)$，同时如果他辞职，则获得 $\log(\overline{w})$ 的保留效用。

如果股东想让经理进行调查，则合同必须满足自选择约束

$$U(\text{不调查})\leqslant U(\text{调查}) \tag{8.3}$$

如果经理调查，他仍有 $(1-\theta)^2$ 的概率找不到低成本的技术，所以不等式（8.3）等价于

$$\theta\log(w_1)+(1-\theta)^2\log(w_2)\leqslant[1-(1-\theta)^2]\log(w_1) \\ +(1-\theta)^2\log(w_2)-\alpha \tag{8.4}$$

由于股东想尽可能降低经理得到的补偿，因此自选择约束为紧的。将不等式（8.4）变为等式并进行简化，得到

$$\theta(1-\theta)\log\left(\frac{w_1}{w_2}\right)=\alpha \tag{8.5}$$

参与约束（也为紧的）为 $U(\overline{w})=U$（调查），或

$$\log(\overline{w})=[1-(1-\theta)^2]\log(w_1)+(1-\theta)^2\log(w_2)-\alpha \tag{8.6}$$

联立方程（8.5）与（8.6），求解 w_1 与 w_2，结果为

$$w_1=\overline{w}e^{\alpha/\theta}$$

$$w_2 = \overline{w} e^{-\alpha/(1-\theta)} \quad (8.7)$$

式中，e 不代表努力而是自然常对数，$e \approx 2.72$。企业的预期成本为

$$[1-(1-\theta)^2]\overline{w}e^{\alpha/\theta} + (1-\theta)^2 \overline{w} e^{-\alpha/(1-\theta)} \quad (8.8)$$

如果参数为 $\theta = 0.1$，$\alpha = 1$ 以及 $\overline{w} = 1$，则近似值为 $w_1 = 22\ 026$ 并且 $w_2 = 0.33$，此时预期成本为 4 185。很可能发生的情况是，股东决定不值得让经理调查。

现在假定此时 Apex 公司有了一个具有相同情况的竞争者——Brydox 公司。Apex 公司的股东可以进行如下威胁，即如果 Brydox 公司采用了低成本技术而 Apex 公司未采用，将对经理进行无限严厉的惩罚。如果 Brydox 公司的股东同样行事的话，两个经理将陷入囚徒困境——二者均希望不调查，但每个人均因为害怕别人调查，则自己也进行调查。Apex 公司的强制性合同可以规定 $w_1 = w_2$，以完全保障经理，同时如果 Brydox 公司的成本低于 Apex 公司，则进行无限严厉的惩罚。合同仅需要满足参与约束 $\log(w-\alpha) = \log(\overline{w})$，所以 $w = 2.72$ 并且 Apex 公司取得管理者信息的成本仅为 2.72，而不是 4 185。通过解雇经理的威胁而不是企业破产的威胁的竞争提高了效率。

*8.3 制度与代理问题

减轻代理问题的方法

通常如果代理人是风险规避的，则得不到最优合同。这或者是因为必须要在提供给代理人激励与避免他的报酬由于像不同世界状态之间等代理人不可控的原因而发生较大波动之间进行取舍，或者是因为不可能对其实施足够的惩罚。我们已经讨论了一系列不同的解决问题的方法，现在把它们列在一起或许会有用。每种方法都以具有重要实际价值的经理薪酬的特殊例子来进行说明，其有趣之处或者是由于存在显性激励合同，或者是由于该类合同并未经常得到使用（参见 Baker，Jensen & Murphy (1988)）。 216

(1) **声誉**（5.3、5.4、6.4、6.6 节）：根据经理过去的努力以及可信任程度对其进行提升。

(2) **风险分担合同**（7.2、7.3、7.4 节）：经理不仅得到薪水，而且得到对企业股票的看涨期权（call options）。如果他降低了股票价值，他的期权价值也会下降。

(3) **油锅合同**（7.4 节）：如果仅当经理偷懒并且自然状态出现不利时企业才会变得无法支付红利，当企业不发红利时会解雇代理人的威胁将会使代

理人努力工作。

（4）**全盘出售**（7.4节）：经理融资买入企业。

（5）**效率工资**（8.1节）：为了使他害怕失去工作，给首席执行官支付超出他的能力的工资（参见拉斯穆森（Rasmusen，1988b）关于互助银行的论述）。

（6）**锦标赛**（8.2节）：几个副总裁进行竞争，胜者将会继任总裁。

（7）**监督**（3.4节）：董事会雇用顾问来评价经理的业绩。

（8）**重复**：在经理的大部分工作生涯中，他的工资低于边际产出，但如果保持良好的工作记录，他以后会得到高薪或者丰厚的退休金。

（9）**转变代理人的类型**：年长的经理通过称赞雄心和努力工作来鼓励年轻经理。

我们已经讨论了除最后两种方法外的所有解决方案。当贴现率较低时，重复能够使合同接近于最优合同（Radner，1985）。在7.2节的生产博弈V中，博弈结果未能得到最优合同是由于产出既依赖于代理人的努力，又依赖于随机噪声。如果博弈重复50次并且噪声为独立的，随机性将会被平均化消除，因而委托人能形成对代理人努力的精确估计。从某种意义上说，努力水平在长期总是可以推断出来，但这尚未得到证实。

通过提高合意行为或者降低不合意行为的直接效用而转变代理人的类型构成一种解决方法，但该方法很少受到经济学家的关注——他们的着眼点一直放在如何通过改变货币报酬来改变效用。阿克洛夫（Akerlof，1983）的文章是少数几篇述及转变类型的著述之一，在文中他指出对儿童的德育（而不仅仅是智育）教育影响到他们的生产力以及事业成功。但经济学的看法是，尽管存在高尚的代理人，但设计组织规则时必须考虑到非高尚的代理人，如同大约2 000年前中国先哲韩非子所论述的那样：

217 今贞信之士不盈于十，而境内之官以百数，必任贞信之士，则人不足官。人不足官，则治者寡而乱者众矣。故明主之道，一法而不求智，固术而不慕信。（*Han Fei Tzu*（1964），p. 109 from his chapter，“The Five Vermin”）。

诚信的人的数目或许没有像政府规模那么快地增加，所以韩非子的论断是有根据的；但我们应该牢记在心的事实是诚实的人确实存在，并且诚实能够进入理性模型。在为培养诚实与为其他目的而支出之间要进行取舍；同时，或许在使用为对事实漠然的代理人设计的次优合同与使用为诚实的代理人设计的更简单的合同之间，也必然存在取舍。

政府制度与代理问题

法学领域非常适于用委托—代理模型来进行分析。早在19世纪，霍尔姆

斯（Holmes，1881，p. 31）就在《普通法》（*The Common Law*）中推测，曾经如果航船遇难则水手将得不到任何工资的原因是为了阻止水手过早放弃抢险逃入救生艇的行为。很典型地，激励相容和保险在此起反向作用。如果水手比船主更加风险规避，同时在暴风雨中货币激励并不会增加他们的努力，则无论航行成功与否，船主都应确保水手的工资，从而对其提供了保险。否则，老规定就会是有效的。

另一个法律问题是谁应该承担事故的成本——受害者（例如被汽车撞倒的行人）还是肇事者（司机）。经济学家对此的回答取决于谁的道德风险更严重。如果行人能够以最低成本避免事故，他应该承担代价；否则，由司机承担。确实，正如科斯（Coase，1960）指出的那样："造成"一词可以被误解为：从司机和受害者都能阻止事故的意义上说，他们共同造成了事故，尽管成本不同。**最低成本避免者原则**（least-cost avoider principle）在法律的经济分析中十分有用，它是波斯纳的经典论文的主题（Posner，1992）。

刑法中也涉及激励与保险之间的取舍问题。霍尔姆斯（Holmes，1881，p. 40）得意地提到，麦考利（Macaulay）的《印度刑法典（草案）》（Indian Penal Code）已有违反客运合同构成犯罪的雏形。其原因是轿夫会因为太穷而无法赔付将乘客弃于荒野的赔偿金，因此需要国家力量来提供比破产更严厉的惩罚。但总的来讲，在刑法中使用的法令似乎比在民法中使用的更加偏离于最优。举例来讲，如果一个清白的人不可能被误判为贪污，则对贪污者使用油锅合同将会是好办法，但大多数国家不会允许这种处罚。进一步地，如果谋杀的证据比起贪污的证据更加缺乏说服力，我们的分析很容易得出的结论是：对谋杀者的惩罚应该更轻，但该推理违反了一般的观念，即惩罚的严重性应与犯罪造成的损害相一致。

私人制度与代理问题

一方面，代理理论能够用来解释甚至改进政府政策；另一方面，它也能够用来解释许多有趣的私人制度。代理问题是经济发展的一个重要的阻碍因素，它可以解释许多表面上非理性的实践。波普金（Popkin，1979，pp. 66，73，157）提到了许多这类情况。例如，在越南，外居地主比本地地主更加宽容，但却很少改良土地，这同相对于代理人拥有信息劣势的委托人的行为方式一致。在田地的通道中，农夫经常会种植早熟的水稻，这些水稻将由农户家庭在正常庄稼成熟前亲自收割，从而避免了外雇劳力在经过时顺手牵羊。在13世纪的英格兰很少有人种植富含营养的豆类，其原因在于它们极易被盗。一些村庄规定，只有在以牧师敲响教堂钟声为标志的确定的时间里才允许村民进入豆田，而在

此时每个人都能既照料又看护自己的庄稼，因而该代理问题得到解决。

在离我们更近一些的例子中，道德风险提供了除税收优势外的另一种解释为什么雇员会以附加福利方式获取部分工资的现象。教授以计算机机时的方式获取部分工资，因此他们有进行更多研究工作的积极性。使用计算机机时的零边际成本避免了研究松懈的道德风险问题——尽管它导致了浪费机时的道德风险。另一个非典型的例子是关于一家明尼苏达的银行。出于形象的考虑，该银行给每个雇员提供可在指定服装店内使用的价值 100 美元的购物券，以改善其着装。通过在支付现金与发放着装之间权衡，银行希望能够同时提高它的利润与雇员的快乐。（“The \$100 Sounds Good，but What Do They Wear on the Second Day?” *The Wall Street Journal*，October 16，1987，p. 17）。

在长期合同中许多变量不可预测因而不可合同化，因此道德风险经常出现。术语**机会主义**（opportunism）用来指代理人的一类行为，即利用不可合同化以损害委托人为代价来提高自己的所得（参见 Williamson（1975）与 Tirole（1986））。除非重新谈判，否则因为史密斯能够提出他无法承担合同职责并以此来损害琼斯的威胁，所以史密斯将能从琼斯那里获得超出合同规定的支付。这被称作**要挟潜能**（hold-up potential）（Klein，Crawford & Alchian，1978），经常用哈特和摩尔在 1990 年的学术会议上提交的关于谁应该拥有资产的论文来建模。只要竞争不是激烈到使租金降为零，要挟潜能甚至能够令代理人将竞争性代理人引入博弈。有人曾对我讲过一个有关的例子。菲尔切尔德公司曾开发出了一种电子燃油喷射系统部件的专利技术。它的燃油喷射系统部件是卖给 TRW 公司的。该部件的购买者 TRW 害怕从仅有一家供货商那里购买产品所引起的要挟潜能，因而提出如果菲尔切尔德公司将此专利提供给另一家生产商，它将会支付更高的价格购买该专利。TRW 也可以尝试通过书面合同的方式来阻止要挟，但它知道很难预先规定菲尔切尔德公司可能引起损害的所有方式，不仅包括拖延送货、劣质服务以及低质量，而且还包括诸如不能有效阻止由于意外事故或罢工而引起的企业停产等因疏忽而引起的问题。

从以上大量的例子中我们可以清楚地看到道德风险是普遍存在的问题。既然关于委托—代理问题的第一批研究已经结束，研究者开始使用新理论来研究一些特殊制度和实务，如管理、法律和人类学领域内以前被归入描述性的“软”学术工作等。

*8.4 重新谈判：回收博弈

在博弈论中，重新谈判问题出现于两个完全不同的情形中。在第 4 章所论及的场合中，参与人可以在具有帕累托优势的子博弈均衡中达成合作，但该均衡对整个博弈而言或许是处于帕累托劣势的。在那里，我们关注的是多重均衡的选择问题。本节关注一个完全不同的情形，在其中参与人签订了一个有约束力的合同，但在随后的子博弈中参与人双方均同意废除旧合同，并以旧合同作为谈判起点签订一个新合同。这里的问题不是均衡的选择，而是在博弈中哪个策略将会被允许使用。该论点经常出现在委托—代理模型中，特别是从德瓦特里庞（Dewatripont，1989）开始到哈特和穆尔（Hart & Moore，1990）的隐藏知识文献中。这里我们将使用隐藏行动模型来说明重新谈判问题，在该模型中一个银行在向消费者提供车贷时，将不得不考虑消费者是否会足够努力工作以偿还贷款的问题。 219

回收博弈

参与人

银行和消费者。

博弈顺序

（1）银行不贷款或者以成本 11 贷给消费者车贷，即允许消费者购买价格 11 的汽车但是要求他还贷 L，否则将失去汽车的所有权并移交给银行。

（2）消费者接受贷款购买汽车或者拒绝贷款。

（3）消费者选择“工作”，收入是 15；或者选择“玩耍”，收入是 8。工作的负效用是 5。

（4）消费者还贷或者违约。

（4a）该博弈的一种形式是，银行提出清算金额 S 并将汽车的所有权交给消费者。

（4b）消费者接受或者拒绝清算金额 S。

（5）如果银行没有得到 L 或者 S，它将重新获得汽车的所有权。

支付

如果银行不进行贷款或者消费者拒绝贷款，那么两个参与人的支付都是 0。汽车的价值对于消费者来说是 12，对于银行来说是 7。所以，如果银行贷款，那么它的支付是

$$\pi_{银行}=\begin{cases}L-11, & 还清贷款\\ S-11, & 支付清算金额\\ 7-11, & 银行重新取得汽车所有权\end{cases}$$

如果消费者选择工作，那么他的收入是 $W=15$，且他的努力的负效用是 $D=5$。如果他选择玩耍，则 $W=8$ 和 $D=0$。他的支付是

$$\pi_{消费者}=\begin{cases}W+12-L-D, & 还清贷款\\ W+12-S-D, & 支付清算金额\\ W-D, & 银行重新取得汽车所有权或者他拒绝贷款\end{cases}$$

220 我们将考虑该博弈的两种形式，它们的区别是，参与人是否允许博弈行动（4a）和（4b）。正如我们下面将讨论的，如果重新谈判是不可能的，那么结果将是帕累托有效的。

回收博弈 I

该博弈的第一种形式是不允许重新谈判，所以将不包含行动（4a）与（4b）。在均衡中，银行将以 $L=12$ 的条件发放贷款，同时消费者将会选择“工作”并偿还贷款。按照序贯理性原则从博弈末期向前递推，由于当消费者偿还 12 时他将获得价值 12 的汽车，因而他将愿意偿还。[1] 当选择“工作”时，他可以偿还贷款，并获得支付 10（$=15+12-12-5$）；但如果选择“玩耍”，他将不能偿还贷款，从而银行收回汽车，他所获得的支付将减至 8（$=8-0$）。对银行而言，当它以 $L=12$ 提供贷款时，消费者将会偿还，同时又由于该数额为消费者能接受的最大数额，因而它会选择以 $L=12$ 的条件提供贷款。银行的均衡支付为 1（$=12-11$）。尽管在均衡时银行因为拥有完全的讨价还价能力而获得所有盈余，但既然此时消费者拥有了汽车——而汽车对于他的价值高于对车商的价值，该结果将是有效的。

在均衡时，银行的策略是提供贷款 $L=12$；如果 $L\leqslant 12$，消费者的策略是接受；如果 $L\leqslant 12$，消费者的策略是“工作”和接受贷款或者拒绝贷款（支付是 $15-5=10$）；并且“偿还”，如果 $W+12-L-D\geqslant W-D$，所以 $L\leqslant 12$。均衡结果是银行提供贷款 $L=12$，消费者接受，他工作并且偿还贷款。

回收博弈 II

该博弈的第二种形式允许重新谈判，所以博弈中包括了行动（4a）与

(4b)。由于重新谈判导致银行拒绝贷款的均衡，从而使得银行与消费者获得的支付从（1，10）降至（0，10），因此，重新谈判变得有害。此时交易收益(gains from trade）消失了。

回收博弈Ⅰ中的均衡在回收博弈Ⅱ中被破坏了，因为消费者将通过选择“玩耍”而偏离该均衡。在回收博弈Ⅰ中，选择“玩耍”的结果将是银行重新拥有汽车所有权；在回收博弈Ⅱ中，银行仍有重新拥有汽车的权利，此时的支付为$-4(=7-11)$。但如果银行选择重新谈判并提供$S=8$，该清算将会被消费者接受，其原因在于这时他将保留价值为12的汽车，同时银行与消费者的支付分别为$-3(=8-11)$与$12(=8+12-8)$。因为银行喜欢-3不是-4，所以银行将会重新谈判，同时消费者将通过选择“玩耍”而将其支付从10提高到12。但由于刚开始时即行动（1）就预测到了该结果，银行将会通过拒绝提供贷款而使自己的处境更好，此时的支付为（0，10）。银行甚至不能通过提高偿还条件L而使其不至于亏本。举例来讲，如果$L=30$，消费者仍会欣 221
然接受合同，因为这时他知道当他选择“玩耍”并拖欠时，他最终支付的数额将恰好为$S=8$。因为参与人双方都知道随后将会重新谈判，所以讨价还价博弈中的第一个提议合同金额L是无意义的，空的。

在均衡时，银行的策略是完全不提供贷款。但是如果它提供贷款，则消费者会接受贷款并违约。发放$S=8$或者$S=12$的贷款依赖于消费者选择“玩耍”还是“工作”。消费者的策略是接受发放的任何贷款，无论L的值是多少。只有当他拒绝贷款时，他选择“工作”（支付是$15-5=10$），其他情况都选择“玩耍”并违约。如果他选择“玩耍”，他会接受清算金额$S=8$；如果他选择“工作”，$S=12$。均衡结果是银行不发放任何贷款而消费者选择“工作”。

重新谈判有某种自相矛盾的结果。在从消费者违约开始的子博弈中，重新谈判使得参与人对无效惩罚进行了帕累托改进，因而提高了效率。但对整个博弈而言，它制止参与人使用惩罚来威慑无效的行动，因而降低了效率。在任何惩罚只是造成了净损失而不是从被惩罚者向惩罚者转移支付的场合，情况总是如此。这或许是为什么美国法官不像公众那样愿意对罪犯施加惩罚的原因。当罪犯已经进入法庭时，额外的监禁对他的罪行不会产生威慑影响，而同时又对罪犯和社会带来了实际成本。孤立地来看每一个案例，撇开惩罚，判决是无效率的。

因为风险由风险规避的代理人而不是风险中性的委托人承担，因而重新谈判问题也会出现在委托—代理模型中。为了提供高努力或自选择的激励，最优合同会规定风险由风险规避的代理人承担。如果在博弈的某个时点上代理人已经选择了行动是共同知识，但自然尚未行动，这时代理人就承担了不

必要的风险。委托人知道代理人已经采取了行动，所以他们两人均愿意重新签约，从而使自然行动带来的风险重新由委托人承担。但预期到未来重新签约的可能将使得最初的合同成为一纸空文，因而降低了代理人努力工作或讲真话的积极性。

回收博弈说明了重新谈判之外的其他想法。它是完美信息博弈，但却在某种程度上类似于隐藏行动的道德风险博弈。这是由于博弈存在着一个隐含的破产约束，以至于合同不能对选择无效努力的消费者进行充分惩罚。限制策略空间与限制参与人可得的信息具有相同的效果。这是表现可观测性与可合同化之间差异的另一个例子——消费者的努力是可观测的，但不是真正可合同化的，其原因在于，破产约束会保护选择低努力的消费者免受惩罚。

两个模型都允许有法律约束的协议关于在金钱和财富转移上的承诺，但是它们不允许消费者承诺“工作”。同样，如果消费者不能偿还贷款，银行有法律上的权利来回收对汽车的所有权，但是银行不能因为消费者违背选择“工作”的允诺而将其送入监狱。

该博弈也说明了了解“讨价还价能力”含义的困难。该术语对许多考虑法律与公共政策的人十分重要，尽管他们对它的定义含糊不清。考虑讨价还
222 价能力的一个自然方式是将它看做从讨价还价活动中得到更大份额盈余的能力。这里存在来自消费者购买汽车的盈余 1，因为汽车成本为 11 而对他的效用价值为 12。回收博弈的两种形式将所有的讨价还价能力都赋予了银行，即这时只要存在盈余，则银行将会 100%地得到它。但在回收博弈Ⅱ中，该讨价还价能力对银行并没有任何帮助，因为此时消费者将有办法使得银行成为交易的受损方，尽管它拥有讨价还价的能力。

*8.5 状态空间图：保险博弈Ⅰ和Ⅱ

处理委托—代理问题的另一种方法是使用图表，尤其当策略空间是连续的时候特别有用。术语“道德风险”来自保险业，它揭示了这样一种观点：如果一个人投保了，那么他将变得不那么小心，从而发生事故的危险会增加。假定史密斯先生（代理人）正在考虑对价值 12 的汽车购买盗窃险。该情形可用**状态空间图**（state-space diagram）来表述，如图 8—1 所示。在状态空间图中，横轴与纵轴表示的是一个变量在两个不同状态中的取值。在史密斯购买保险之前，如果发生盗窃，他的美元财富为 0，否则为 12，因此我们用 $\omega=(12, 0)$ 来描述他的初始禀赋。点（12，0）表明在一种状态中财富为 12，而在另一种状态中为 0；而点（6，6）表明在每一种状态中财富均为 6。

我们无法仅仅通过看状态空间图来给出每个状态的概率。我们设定：如

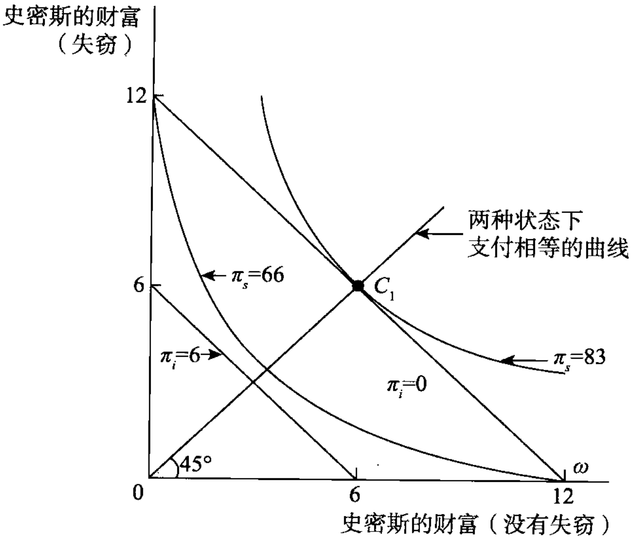


图 8—1　保险博弈 I

果史密斯停车时小心防范，则“失窃”出现的概率为 0.5；但如果他疏于防范，则概率升至 0.75。他是风险规避的，同时在其他条件相同的情况下，他将略偏好粗心，该偏好对他而言只值 ε。然而其他条件将不会相同，因此，由于粗心与失窃之间的高度相关性，在不保险的情况下他会选择小心防范。

或许是由于保险公司由分散的股东所拥有，保险公司（委托人）是风险中性的。我们假定在提供保险时不存在交易成本，同时市场是竞争性的。注意在生产博弈 V 中委托人得到交易的所有收益，这与市场竞争性假定不同。如果保险公司能够强制史密斯停车时小心防范，则它将会收取数值为 6 的保险费，并且当盗窃发生时赔偿给他 12 的数额，因此给他的配置为 C_1 = (6,6)。由于它是在投保人不受损失的情况下任何公司能提供的最具吸引力的合同，这满足了竞争约束。无论哪种情况发生，史密斯的分配均为 6，因此他得到**全保险**（fully insured）。在状态空间图中，像 C_1 这样对一个参与人全保险的分配位于通过原点的 45°线上，在该条线上两种状态下的分配是相等的。 223

在下述详细描述的博弈中我们设定两个保险公司以模拟竞争性市场。对风险规避的史密斯而言，我们必须区分（12，0）这样的美元分配与 0.5U(12)+0.5U(0)这样的效用支付。图 8—1 中的曲线对史密斯以效用单位计量，而对保险公司则以美元计量。

保险博弈Ⅰ：防范程度可观测

参与人

史密斯与两个保险公司。

博弈顺序

(1) 史密斯选择“小心防范”或“粗心防范”，行动被保险公司观测到。

(2) 保险公司1提供合同（x，y），其中史密斯支付保费x，同时如果失窃收到赔偿y。

(3) 保险公司2也提供形式为（x，y）的合同。

(4) 史密斯选择一个合同。

(5) 自然选择是否失窃，如果史密斯“小心防范”的话，失窃概率为0.5；如果“粗心防范”的话，概率为0.75。

支付

史密斯为风险规避的，同时保险公司为风险中性的。未被史密斯选中的公司得到零支付。

史密斯的效用函数U满足$U'>0$以及$U''<0$。如果史密斯选中合同（x，y），支付为：

如果史密斯选择“小心防范”，

$$\pi_{\text{史密斯}}=0.5U(12-x)+0.5U(0+y-x)$$

$$\pi_{\text{公司}}=0.5x+0.5(x-y) \quad \text{（对承保者而言）}$$

如果史密斯选择“粗心防范”，

$$\pi_{\text{史密斯}}=0.25U(12-x)+0.75U(0+y-x)+\varepsilon$$

$$\pi_{\text{公司}}=0.25x+0.75(x-y) \quad \text{（对承保者而言）}$$

224 在保险博弈Ⅰ的均衡中，史密斯选择“小心防范”，其原因在于他预见到当选择粗心防范时他的保险费将更加昂贵。图8—1是艾奇沃斯方盒（Edgeworth box）的一角，它显示了在给定史密斯的防范措施使失窃概率低至0.5时史密斯与保险公司的无差异曲线。保险公司是风险中性的，所以它的无差异曲线（$\pi_i=0$）是斜率为$-1/1$的直线。在像$\pi_i=6$这样更接近原点的无差异曲线上，保险公司的支付更高，因此史密斯有更低的预期支付。保险公司对ω与C_1是无差异的，在二者中它的利润均为零。史密斯为风险规避的，如果他“小心防范”的话，他的无差异曲线与45°线（在该条线上他在两种状态

下的财富相同）的交点最接近原点。为了更具体一些，我们以 66 和 83 为例。我标记了他最初的无差异曲线为 $\pi_s=66$，同时画出了通过均衡合同 C_1 的偏好的无差异曲线 $\pi_s=83$。均衡合同为 C_1，它在保持保险公司取得非负利润的情况下，令史密斯得到了最高的预期效用，因此它满足了竞争约束。

保险博弈Ⅰ是一个对称信息博弈。保险博弈Ⅱ改变了这一点。设想一下下面三种情况的任何一种：

（1）公司无法观测到史密斯的行动（“小心防范”是无法观测到的）；或

（2）国家保险委员会不允许合同强制史密斯“小心防范”；

（3）由于证实“粗心防范”的成本很高，强制史密斯小心防范的合同不可能执行（在法庭上“小心防范”是不可证实的）。

在每种情况下史密斯的行动均为不可合同化的变量，所以我们通过令史密斯第二个行动而将以上三种情形以同样的方式模型化。新的博弈类似于生产博弈Ⅴ：包含不确定性、不可观测性以及两种产出水平（“失窃”或“不失窃”）。保险公司或许不能直接观测史密斯的行动，但史密斯的优势策略为“粗心防范”，所以保险公司知道失窃的概率为 0.75。除了下述情况外，保险博弈Ⅱ与保险博弈Ⅰ相同。

保险博弈Ⅱ：防范程度不可观测

博弈顺序

（1）保险公司 1 提供合同 (x, y)，其中史密斯支付保费 x，同时如果失窃收到赔偿 y。

（2）保险公司 2 也提供形式为 (x, y) 的合同。

（3）史密斯选择一个合同。

（4）史密斯选择“小心防范”或“粗心防范”。

（5）自然选择是否会失窃，如果史密斯“小心防范”的话，失窃概率为 0.5；如果“粗心防范”的话，概率为 0.75。

保险博弈Ⅱ中史密斯的优势策略为“粗心防范”，所以与保险博弈Ⅰ相比，为了防止损失，保险公司必须提供保费为 9、赔偿为 12 的合同，此时史密斯得到分配 $C_2=(3, 3)$。使失窃更可能发生减小了参与人双方的无差异曲线的斜率，其原因在于它降低了位于 45°线东南方的点的效用，同时提高了位于西北方的点的效用。在图 8—2 中，保险公司的等利润线从实线 $\pi_i=0$ 旋转至虚线 $\tilde{\pi}_i=0$。它之所以围绕点 ω 旋转，是因为在该点公司的利润与史密斯的汽车失窃的概率无 225

关。这很容易理解，因为在点 ω 保险公司不会给他提供保险。史密斯的无差异曲线也从实线 $\pi_s=66$ 旋转至虚线 $\tilde{\pi}_s=66+\varepsilon$。它是围绕无差异曲线 $\pi_s=66$ 与 45°线的交点旋转的，因为在 45°线上失窃的概率不会影响史密斯所得的支付。数差 ε 出现是因为史密斯选择了他略偏好的行动"粗心防范"。

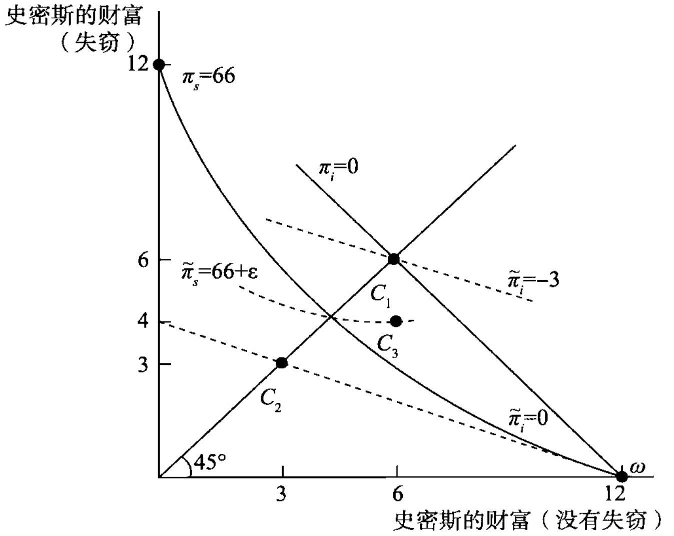


图 8—2　使用完全与部分保险的保险博弈Ⅱ

图 8—2 表明保险公司将不会提供全保险的合同。合同 C_1 对史密斯而言可接受，但由于它使保险公司得到负利润，保险公司将不会接受；合同 C_2 对保险公司而言可接受，但由于史密斯偏好 ω，他将不会接受该合同。史密斯愿意承诺"小心防范"，但他无法使承诺可信。如果存在证实他的诚实的方式，即便是有成本的，他也会使用它们。例如，如果可以证实的话，即使给车上锁更加便宜，他还是会购买不靠近街面的停车位。

尽管没有像 C_1 与 C_2 这样的全保险的合同可被双方接受，我们也可以使用其他的合同。现在考虑图 8—2 中的部分保险合同 C_3，其中保费为 6、赔偿额为 8。与初始禀赋 $\omega=(12,\ 0)$ 相比，无论史密斯选择"粗心防范"还是"小心防范"，他都会更偏好 C_3。我们可以从两个角度考虑 C_3：

（1）**扣除额**（deductible）为 4 的全保险。保险公司支付所有超过 4 的损失。

（2）**共保率**（coinsurance rate）为 1/3 的保险。保险公司支付所有损失的 2/3。

由于在像 C_3 这样的部分保险合同下史密斯会选择"小心防范"，因此解决问题的前景是光明的。由于史密斯略微偏好"粗心防范"，从这种意义上说

道德风险程度很小。即便仅有一个小的扣除额，史密斯也会选择“小心防范”，使得失窃的概率降至0.5，从而保险公司可以提供更优厚的保险。全保险的解“几乎”实现。在现实中我们很少观察到真正的全保险，这是因为保险合同仅仅支付购买汽车的价钱而不管汽车的重购问题，而重购的麻烦可能会较大，足以阻止车主不锁车的行为。 226

图8—3说明了部分保险下的努力选择。史密斯的无差异曲线可以如虚线（粗心防范）所示，也可以如实线（小心防范）所示。在45°线的东南方，对应于某一效用水平的虚线表示的无差异曲线总是位于同样效用的实线表示的无差异曲线之上。在合同为C_4时，史密斯选择“小心防范”从而处于实线上，所以C_4使保险公司获得零利润。事实上，竞争性保险公司在均衡时将提供合同C_5，该合同几乎是全保险的，但仅仅是“几乎”，所以，史密斯为避免他仍旧承担的少量风险而选择“小心防范”。

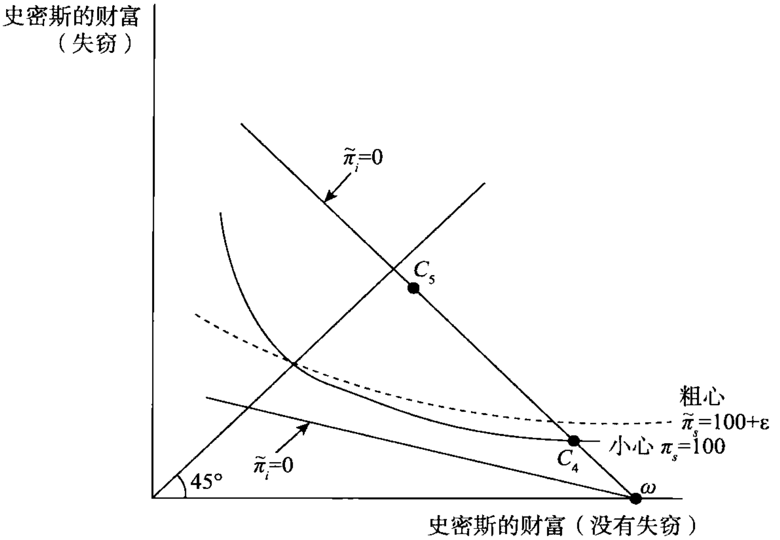


图8—3　对保险博弈Ⅱ中部分保险的进一步探讨

因此，如同在委托—代理模型中一样，存在着有效努力与有效风险分配之间的权衡问题。即使当全保险与有效努力不能同时达到时，在可行合同集中也存在像C_5这样的最优选择，即在信息不对称约束下的次优保险合同。

把“防范”看做道德风险模型中的努力的观点在很多内容中出现。最重要的两个是民法和法律与租赁经济学。民法中最大的问题是怎样对“防范”作出正确的激励，这些需要作出“防范”的人们可以行动起来，通过当事故

发生时法律赋予的责任或者通过要求“防范”的规章来阻止事故发生。无论是汽车、公寓还是晚礼服的租赁，最大的问题是租赁者缺乏有效的激励来照看好物品。正如P. J. 欧鲁尔克（P. J. O'Rourke）所说（引自Mcafee（2002，p. 189）和其他人）：

> 关于什么类型的汽车最好操纵这个主题争论很大。有人说是前置发动机汽车，有人说是后置发动机汽车。我认为是租赁的汽车。没有比租
> 227 赁的汽车更容易操纵的了。你可以用租赁来的汽车高速行驶、急速转弯和当快速向前行驶时挂倒挡，而其他任何种类的汽车都不行。

*8.6 多个代理人联合生产：霍姆斯特龙团队模型

在本章的最后，我们将关注点从单个代理人转移到一组代理人。我们已经考虑了锦标赛，它包含多个代理人，但是它处理的仍是有不同产出的代理人的情形。锦标赛是标准问题的解，但是委托人总是会回到像个人风险分担合同这样的其他解上面来。在本节因为可观测的产出是许多代理人观测不到的努力的联合函数，一组代理人的存在会破坏个人风险分担合同的有效性。尽管是一组代理人，但因为可观测的仅有一个产出，所以锦标赛是不可能的。这种情形与第3章中的市民责任博弈有很大的相似性：一组参与人的行动产生一个联合结果，并且每个参与人都希望其他人实施有成本的行动。下面定义团队模型。

团队（team）是指一组代理人，他们独立地选择努力水平，但生产一个共同的产出。

我们将使用下述博弈研究团队问题（Holmstrom，1982）。

团　队

参与人

一个委托人与 n 个代理人。

博弈顺序

（1）委托人对每个代理人 i 提供形式为 $w_i(q)$ 的合同，其中 q 表示总产出。

（2）代理人决定是否接受合同。

（3）代理人同时选择努力水平 e_i（$i=1, \cdots, n$）。

（4）产出为 $q(e_1, \cdots, e_n)$。

支付

如果某个代理人拒绝合同，所有人的支付等于 0。在其他情况下，

$$\pi_{委托人}=q-\sum_{i=1}^{n}w_i$$

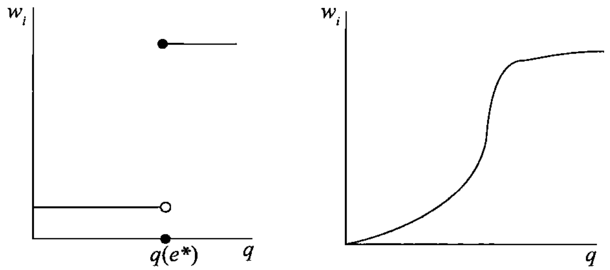
$$\pi_i=w_i-v_i(e_i),v'_i>0,\ v''_i>0$$

尽管代理人为风险中性的，全盘出售在此处将不会奏效，其原因在于代 228
理人组成的团队仍面临着雇主所面对的问题。团队的问题是在代理人之间合作，委托人的问题是次要的。

以 e^* 表示有效的行动向量。如图 8—4（a）所示，一个有效合同为

$$w(q)=\begin{cases}b_i,\ q\geqslant q(e^*)\\0,\ q<q(e^*)\end{cases},\ \sum_{i=1}^{n}b_i=q(e^*),b_i>v_i(e_i^*)\qquad(8.9)$$

当所有代理人都选择有效努力时，合同（8.9）提供给代理人 i 工资 b_i；如果任何一个代理人偷懒，则由委托人保留所有产出，代理人工资为 0。团队模型提供了委托人存在的一个原因：作为被没收产出的剩余索取者。如果不存在委托人，当产出为 99 而不是有效水平 100 时，代理人是否会真的抛弃所有产出是令人怀疑的。这里存在着动态一致性或重新谈判的问题，它类似于本章前面回收博弈中的问题。代理人愿意预先承诺扔掉任何产出，但承诺的目的仅仅是因为均衡时他们不必真的这样做。如果建模者不希望允许抛弃产出，他将会强加一个使工资之和恰好等于产出的**预算平衡约束**（budget-balancing constraint）。但预算平衡产生了一个问题，该问题由命题 8.1 概括如下。（对于像图 8—4（b）中的可微合同的证明是最简单的，但是直觉应用于不可微合同也是可以的。）



(a) 不连续合同　　(b) 可微合同

图 8—4　霍姆斯特龙团队模型的合同

命题 8.1 如果存在着预算平衡约束，则不存在能产生有效纳什均衡的可微工资合同 $w_i(q)$。

代理人 i 的问题为

$$\underset{e_i}{\text{Maximize}}\, w_i(q(e)) - v_i(e_i) \tag{8.10}$$

他的一阶条件为

$$\left(\frac{\mathrm{d}w_i}{\mathrm{d}q}\right)\left(\frac{\partial q}{\partial e_i}\right) - \frac{\mathrm{d}v_i}{\mathrm{d}e_i} = 0 \tag{8.11}$$

229 在预算平衡与线性效用函数的前提下，帕累托最优将会使效用之和达到最大（某些情况下这个命题是不正确的），所以可通过下式求解最优：

$$\underset{e_1,\dots,e_n}{\text{Maximize}}\, q(e) - \sum_{i=1}^{n} v_i(e_i) \tag{8.12}$$

一阶条件为，努力对产出的边际货币贡献等于努力的边际负效用：

$$\frac{\partial q}{\partial e_i} - \frac{\mathrm{d}v_i}{\mathrm{d}e_i} = 0 \tag{8.13}$$

由于 $\mathrm{d}w_i/\mathrm{d}q$ 不等于 1，所以方程（8.13）与代理人的一阶条件（8.11）相矛盾。如果 $\mathrm{d}w_i/\mathrm{d}q$ 确实等于 1，代理人 i 将会成为剩余索取者并得到产出的所有边际增加——但在预算平衡下，不是每个代理人都能做到这一点。由于每个代理人承担了自己的全部边际努力，但只得到部分收益，合同将不会取得最优结果。另一方面，如果不存在预算平衡，当代理人略微偷懒时他会取得来自偷懒的所有闲暇收益，但在方程（8.9）的最优合同下他会因而丧失所有工资。

公共产品支付中的非连续性

一般而言，如果几个参与人独立选择努力水平，并且努力共同提高他们分享收益的公共产品水平时，将会存在“搭便车”问题。在非合作的情况下，他们选择的努力水平低于当可以达成有约束力的承诺时。从数学上讲，令相同的风险中性的参与人（以 i 表示）选择努力水平 e_i 以生产数量为 $q(e_1,\cdots,e_n)$ 的公共产品，其中 q 为连续函数。参与人 i 的问题为

$$\underset{e_i}{\text{Maximize}}\, q(e_1,\cdots,e_n) - e_i \tag{8.14}$$

其一阶条件为

$$\frac{\partial q}{\partial e_i} - 1 = 0 \tag{8.15}$$

而更高水平的最优（first-best）n 维努力向量 e^* 由下式给出

$$\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial q}{\partial e_i}-1=0 \tag{8.16}$$

如果函数 q 在 e^* 处是不连续的（例如，对任意 i，如果 $e_i<e_i^*$，则 $q=0$；如果 $e_i\geqslant e_i^*$，则 $q=e_i$），策略组合 e^* 可以构成纳什均衡。在团队博弈中相同效应可以起作用。尽管团队函数不是非连续的，但合同（8.9）被构造为非连续的（好像对于任意 i 如果 $e_i\neq e_i^*$，则 $q=0$ 一样），其目的是取得相同的激励。

由于在 e^* 处的非连续性使得每个参与人均为边际的和决定性的参与人，最优能够达到。如果他稍微偷懒，产出就必然会剧烈下降。下面的任意一种 *230*
修订将会恢复“搭便车”问题并引起偷懒：

（1）令 q 不仅为努力而且为随机噪声的函数——自然在参与人之后行动。不确定性使得预期产出成为努力的连续函数。

（2）令参与人对临界值有不完全信息——自然在参与人之前行动并选择 e^*。不完全信息使得估计产出为努力的连续函数。

非连续现象是常见的。其例子包括：

（1）团队中的努力（Holmstrom，1982；Rasmusen，1987）。

（2）寡头实施的进入威慑（Bernheim，1984b；Waldman，1987）。

（3）触发策略（trigger strategy）下的寡头产出（Porter，1983a）。

（4）专利竞赛。

（5）收购中的偿付份额（tendering shares）（Grossman & Hart，1980）。

（6）对公共产品水平的偏好。

*8.7 多任务代理问题

霍姆斯特龙和米尔格罗姆（Holmstrom & Milgrom，1991）指出了在标准委托—代理问题中被忽略的地方：委托人常常想让代理人把他的时间分到几项工作中去（每项工作都有各自的产出），而不仅仅只是其中的一项工作。如果委托人使用我们在前面几章中描述的激励合同中的某一个去激励一项工作，那么这个“高效合同”能导致代理人完全忽视其他的工作而让委托人的情况比提供固定工资时更坏。我们将在下面两个模型中讨论这种情况，下面的模型是委托人能观察到代理人某项工作（q_1）的产出但是观测不到另一项工作（q_2）的产出。

多任务博弈Ⅰ：两项工作，无闲暇

参与人

委托人和代理人。

博弈顺序

（1）委托人要么提供给代理人形式为 $w(q_1)$ 的激励合同，要么是监管合同，即委托人支付给代理人一个基本工资 $\overline{m}$，如果他观察到代理人完成任务1，那么工资增加 m_1；如果观察到代理人完成任务2，那么工资增加 m_2。（$\overline{m}$ 基数在多任务Ⅰ中是一个多余的符号，但在多任务Ⅱ中是有用的。）

（2）代理人决定是否接受合同。

（3）代理人对这两项任务选择努力 e_1 和 e_2，有 $e_1+e_2=1$，其中1表示可以利用的总时间。

（4）产出是 $q_1(e_1)$ 和 $q_2(e_2)$，其中 $dq_1/de_1>0$ 和 $dq_2/de_2>0$，但是不要求努力的报酬递减。

支付

如果代理人拒绝合同，所有支付都为0。否则，

$$\begin{aligned}\pi_{委托人} &= q_1+\beta q_2-m-w-C\\ \pi_{代理人} &= m+w-e_1^2-e_2^2\end{aligned} \tag{8.17}$$

其中使用监管合同时监管成本是 $\overline{C}$，否则为0。

231 首先从最优开始，这可以通过选择 e_1，e_2（约束条件为 $e_1+e_2=1$）和 C 来最大化支付总和得到。

$$\pi_{委托人}+\pi_{代理人}=q_1(e_1)+\beta q_2(e_2)-C-e_1^2-e_2^2 \tag{8.18}$$

在最优中，当然有 $C=0$，这需要无成本的监管。把 $e_2=1-e_1$ 代入，并对 e_1 使用一阶条件，得到

$$\begin{aligned}C^* &= 0\\ e_1^* &= \frac{1}{2}+\left(\frac{dq_1/de_1-\beta(dq_2/de_2)}{4}\right)\\ e_2^* &= \frac{1}{2}-\left(\frac{dq_1/de_1-\beta(dq_2/de_2)}{4}\right)\end{aligned} \tag{8.19}$$

因此，哪一种努力将变得更大取决于 β（任务 2 的关联值的度量）和在每项任务上递减的努力报酬。例如，如果 $\beta>1$，则任务 2 的产出更有价值并且函数 $q_1(e_1)$ 和 $q_2(e_2)$ 在相同努力下得到相同的产出，那么我们可以从（8.19）式得出预期的 $e_1^*<e_2^*$。

激励合同可以得到最优吗？我们定义 q_1^*，q_2^*，e_1^* 和 e_2^* 为未知量在最优下的值，定义在最优努力下接受合同的最小工资支付是

$$w^* \equiv (e_1^*)^2+(e_2^*)^2 \tag{8.20}$$

接下来，我们考虑在固定工资最大化利润合同下（它或者是激励合同 $w(q_1)=w^*$，或者是监管合同 $\{w^*, w^*\}$）会发生什么情况。代理人的选择将会是在两项任务之间平分努力，因此 $e_1=e_2=0.5$。为了满足参与约束，$\pi_{代理人}=w^*+w-e_1^2-e_2^2\geqslant 0$ 是必要的，所以 $\pi_{代理人}=w^*-0.25-0.25=0$，则 $w^*=0.5$。当然，如果无论成本监管怎么实施工资都将是相同的，那么委托人将倾向于使用"激励合同"而不是监管合同。

那么工资随产出增加（即 $\mathrm{d}w/\mathrm{d}q_1>0$）的共享法则激励合同怎么样呢？该问题不完全是委托人经常遇到的难题，即因为边际负效用超过额外产出值而不用支付努力，从而以尽可能低的成本引入高努力的情况。困难依然存在，但是委托人还要担心所谓的外部性：代理人在任务 1 上付出的努力越多，他在任务 2 上付出的努力就会越少。即使额外的 e_1 可以无成本地获得，委托人可能也不想要，事实上，委托人可能愿意付费来停止它。

考虑最简单的共享法则合同，线性合同 $\mathrm{d}w/\mathrm{d}q_1=b$，所以 $w(q_1)=a+bq_1$。代理人选择 e_1，e_2 来最大化

$$\pi_{代理人}=a+bq_1(e_1)-e_1^2-e_2^2 \tag{8.21}$$

约束条件为 $e_1+e_2=1$（因为 $e_2=1-e_1$，我们可以重写最大化式子，使之只包括 e_1）。

一阶条件是

$$\frac{\mathrm{d}\pi_{代理人}}{\mathrm{d}e_1}=b\frac{\mathrm{d}q_1}{\mathrm{d}e_1}-2e_1^*-2(1-e_1^*)(-1)=0 \tag{8.22}$$

所以

$$e_1^*=\frac{1}{2}+\left(\frac{b}{4}\right)\left(\frac{\mathrm{d}q_1}{\mathrm{d}e_1}\right) \tag{8.23}$$

如果 $e_1^*\geqslant 0.5$，线性合同刚好满足。选择合同参数 a 和 b 使得方程（8.23）中的线性合同努力与方程（8.19）中的最优努力相同。a 的取值为使 232

剩余最小的值，所以参与约束几乎不能满足。

如果 $e_1^* \leqslant 0.5$，线性合同具有正值 b，因此，达不到最优合同。即使是在固定工资下（$b=0$），代理人也会选择 $e_1=0.5$，这太高了。如果委托人为了更多的可观测的产出 q_1 奖励代理人，他就几乎得不到观测不到的产出 q_2。而合同竟然因为高产出必须要惩罚代理人！至少 b 要是一个小的负值，以至于可以用来阻挠任务间代理人首选的努力分配。

关于这方面的一个例子是销售员工作，公司很容易度量销售员从顾客那拿到的订单，但是很难观测到他留给顾客的印象，他帮助其他销售员的程度以及他不行贿和欺诈而遵守制度的程度。如果公司仅仅是奖励订单，销售员会最大化订单。如果销售员想把尽可能多的时间放在其他努力上面，这并不必然导致无效，但是也可能发生的情况是，没有奖励的努力会比它们应该做到的稍微多一些。

第 7 章中比较了三种合同：线性合同、临界值合同和强制性合同。在多任务Ⅰ中，临界值合同同线性合同一样好或者比它还要好。它至少不会向大于临界值提供正向激励，在这个模型中大于临界值肯定是不利的。强制性合同甚至更好，因为委托人肯定不喜欢让 e_1 变得太大。在第 7 章中，强制性合同给人的直观感觉是，它对于一项高产出支付的低工资看上去很不真实，并且它是为了简化而不是用于现实中。或许这可以解释一种普遍的担心，就是学生获得高分可能会降低教授取得终身教职的机会，因为学生获得高分意味着教授没有花费足够多时间在科研上。

因此，在均衡中代理人选择某种合同来得到最优努力 e^*，例如强制性合同，

$$
\begin{aligned}
&w(q_1=q_1^*)=w^* \\
&w(q_1\neq q_1^*)=0
\end{aligned}
\tag{8.24}
$$

会发生监管成本 $\bar{C}$ 的监管合同是次优的，因为无论如何，激励合同可以达到最优，但是我们考虑最优监管合同是怎样生效的。在多任务Ⅰ中我们假设 $\bar{m}=0$，因为我们可以将工资的常数部分增加到 m_1 和 m_2。代理人选择他的努力来最大化

$$
\begin{aligned}
\pi_{\text{代理人}} &= e_1 m_1 + e_2 m_2 - e_1^2 - e_2^2 \\
&= e_1 m_1 + (1-e_1) m_2 - e_1^2 - (1-e_1)^2
\end{aligned}
\tag{8.25}
$$

因为以概率 e_1，监管发现代理人从事任务Ⅰ；以概率 e_2，发现他从事任务Ⅱ。通过选择 e_1 来最大化，得到

$$
\pi_{\text{代理人}} = m_1 - m_2 - 2e_1 - 2\times(-1)\times(1-e_1) = 0 \tag{8.26}
$$

所以如果委托人想让代理人选择特殊努力 $e_1 = e_1^*$，从方程（8.19）可以得出他应该选择 m_1^* 和 m_2^*，以使

$$m_1^* = 4e_1^* + m_2^* - 2 \tag{8.27}$$

注意如果 $e_1^* > e_2^*$，这意味着 $e_1^* > 0.5$，正如我们希望的那样，由方程（8.27）可得 $m_1^* > m_2^*$。

在方程（8.27）中有两个未知量 m_1^* 和 m_2^*，因此我们需要增加信息。我们利用以下事实：如果参与约束得到满足，那么我们把从（8.25）式中得到的支付设为 0，这是关于两个未知量的第二个方程。通过代数联合求解（8.27）式和紧的参与约束，得到

$$m_1^* = 4e_1^* - 2(e_1^*)^2 - 1 \tag{8.28}$$

使用（8.27）式，有

$$\begin{aligned} m_2^* &= [4e_1^* - 2(e_1^*)^2 - 1] + 2 - 4e_1^* \\ &= 1 - 2(e_1^*)^2 \end{aligned} \tag{8.29}$$

它们有预期的性质 $dm_1^*/de_1^* = -4e_1^* + 4 > 0$ 和 $dm_2^*/de_1^* = -4e_1^* < 0$。

在这个风险中性模型中，不定期的无错监管与委托人可以在 100% 的时间内观测到努力的效果一样好。确实，如果我们把模型描述改为委托人可以以成本 $\bar{C}$ 观测到努力水平 e_1 和 e_2，而不是在随机的时间内对代理人的工作进行突击检查，数学解正好相同。当然，委托人或代理人的风险规避可能使事情变得复杂，因为委托人监管的随机性可能造成有成本的风险。如果代理人的时间不是在两项任务之间而是在两项任务和偷懒之间分配那会怎么样？这就是下面的模型。

多任务Ⅱ：两项任务加闲暇

该博弈除了代理人的努力预算约束不再是 $e_1 + e_2 = 1$ 而是 $e_1 + e_2 \leqslant 1$ 之外均与多任务Ⅰ相同。数量（$1 - e_1 - e_2$）代表闲暇，在代理人效用函数中我们设其为 0（与努力相比，它在函数中呈负的并具有递增的边际负效用）。这不是闲暇在经济模型中的典型用法：这里闲暇不是表示中断工作的时间，而是表示工作中（时间间隔为 1）用在偷懒而不是工作上的时间。

我们再次从最优开始，得到最优可以是选择 e_1，e_2 和 C 来最大化支付总和：

$$q_1(e_1) + \beta q_2(e_2) - C - e_1^2 - e_2^2 \tag{8.30}$$

约束条件为 $e_1 + e_2 \leqslant 1$，这是与多任务Ⅰ的最优化问题相比唯一的变化。

现在不能再使用约束 $e_2=1-e_1$ 来替换 e_2，因为在最优解中努力预算约束不一定是紧的。通过求解关于 e_1 和 e_2 的一阶最优条件来得到 e_1 和 e_2 直截了
234 当但是麻烦，所以在这里不这样做。像多任务Ⅰ中一样，我们用 q_1^*，q_2^*，e_1^* 和 e_2^* 来描述解，用 w^* 来描述给代理人的基础支付，如果零闲暇和其他方面更小对于代理人来讲是有效的，这些解的值将会相同。

像多任务Ⅰ中一样，可能有 $e_1^*+e_2^*=1$，这样最优努力水平就与多任务Ⅰ中的值相同。在最优合同中正的闲暇对于代理人来讲是现实的情形，也就是说，努力预算约束不是紧的。这意味着给代理人足够多的钱让他在一天中的每一分钟都在工作是无效的。相反下列举措可能是利润最大化的，例如代理人可以有工间咖啡、午饭时间或者当他妻子来电话时接接电话。

接下来，考虑固定工资合同。在多任务Ⅰ中，固定工资导致 $e_1=e_2=0.5$。在多任务Ⅱ中，它将导致 $e_1=e_2=0$，与Ⅰ的结果完全不同。现在代理人有权选择闲暇，而他不偏好任何一项任务。即使最优努力水平在多任务Ⅰ和Ⅱ中是一致的（闲暇为零），但不能期望在次优合同中仍然是相同的。一个低能量的激励合同是灾难性的，因为即使代理人不再为任务 1 提供高努力水平，它也不能让他因此对任务 2 提供更高的努力。

虽然我们不能像在多任务Ⅰ中那样得到最优合同，高能量的工资随产出增加的共享法则激励合同会有更好的结果。因为无论如何固定工资会导致$e_2=0$，所以激励代理人增加 e_1 不会有任何坏处。任务 2 的努力水平仍是 0，因此最优合同不能达到，但是合适的共享法则会导致 $e_1=e_1^*$。

因为在 e_1^* 处，努力的边际负效应等于努力的边际产出的边际负效用，组合（$e_1=e_1^*$，$e_2=0$）是多任务Ⅱ的次优激励合同。尽管这个解也许具有误导性。我们假设任务 1 的努力负效用与任务 2 的边际负效用是可区分开的，这就是为什么即使代理人不在任务 2 上提供努力他也不必一定要在任务 1 上提供更多的努力。更真实的情况是，努力的负效用是非离散函数 $f(e_1, e_2)$，使得努力是“非法替换”且$\partial^2 f/(\partial e_1 \partial e_2)>0$。在那种情形下，在次优合同中因为代理人关于 e_1 的边际负效用在（e_1^*，0）处比在（e_1^*，e_2^*）处小，不能导致 e_2 为正，委托人将把 e_1 扩大到超过最优合同的水平。

所以，多任务Ⅱ的一个经验是，如果代理人有强烈的意愿去完成一项对委托人毫无利益的任务，这种情况会更接近于传统代理模型而不是多任务Ⅰ。代理人不会在容易度量的任务和不容易度量的任务之间替换，而是在每项任务与闲暇之间替换。委托人采取的最好行动是忽略问题的多任务特征而仅仅为他能够度量产出的任务提供正确的激励。

尽管这样，事情也没有到令人沮丧的地步。最优努力水平能够获得，但

是需要用监管合同来替换激励合同。监管是有成本的，所以这也不是真正的最优，如果监管成本 $\overline{C}$ 太大，它可能不会比次优激励合同更好，但监管合同能够导致委托人希望的任何 e_2 水平。

代理人会选择他的努力来最大化

$$\pi_{\text{代理人}}=\overline{m}+e_1m_1+e_2m_2-e_1^2-e_2^2 \tag{8.31}$$

约束条件为 $e_1+e_2\leqslant 1$。与多任务 I 不同，因为委托人监管代理人并发现代理 235
人既没有从事任务 1 也没有从事任务 2 的工作的情况有可能发生，基本工资 $\overline{m}$ 很重要。基本工资可以是负的，它可以解释为代理人宣称的良好努力的债券或者是他对于担任这项职务和他可能收益 m_1 和 m_2 的特权的费用。

委托人将选择 m_1 和 m_2，导致代理人选择 e_1^* 和 e_2^*，所以他将选择它们来求解代理人问题的一阶条件，得到 e_1^* 和 e_2^*。

$$\frac{\partial\pi_{\text{代理人}}}{\partial e_1}=m_1-2e_1=0$$

$$\frac{\partial\pi_{\text{代理人}}}{\partial e_2}=m_2-2e_2=0 \tag{8.32}$$

求解上式，可以得到 $m_1=e_1^*/2$，$m_2=e_2^*/2$。我们还需要确定基本工 $\overline{m}$。代入参与约束（它是紧的），记得我们曾定义代理人的保留期望工资为 $w^*=e_1^2+e_2^2$。

$$\begin{aligned}\pi_{\text{代理人}}&=\overline{m}+e_1m_1+e_2m_2-e_1^2-e_2^2=0\\&=\overline{m}+e_1^*\left(\frac{e_1^*}{2}\right)+e_2^*\left(\frac{e_2^*}{2}\right)-w^*=0\\&=\overline{m}+\left(\frac{1}{2}\right)w^*-w^*=0\end{aligned} \tag{8.33}$$

所以 $\overline{m}=w^*/2$。

基本工资是正的，即使委托人在监管的时候发现代理人在偷懒，他仍会给代理人一个大于 0 的基本工资。这给人的直觉是当 $e_1^*+e_2^*<1$ 时，在均衡中委托人希望代理人有一些闲暇，而不是支付给代理人更多的工资让他一直工作。当 $e_1^*+e_2^*=1$，也就是说，有效性要求零闲暇时，基本工资是正的就更令人奇怪了。为什么竟然为了非有效行为对代理人进行支付呢?

问题的答案是基本工资是很重要的，仅仅是为了引导代理人接受工作并且无论如何不会影响到代理人对努力的选择。因为无论他在任何活动上花多少时间，他都会得到基本工资，增加基本工资并不会使代理人更喜欢闲暇。如果 $e_1^*+e_2^*=1$，尽管代理人知道他不做任何事情都会得到基本工资，他还是会选择零闲暇，因为 m_1 和 m_2 的激励足够大，以至他不想浪费任何得到激励工

资的机会。

所以，我们以一个令人高兴的注解来作为关于道德博弈的这两章的结尾：如果代理人的工作很有价值并且有令他满意的工资，那么他将很愿意像委托人希望他做的那样去做。

注

N8.1 效率工资

- "胡萝卜"和"大棒"哪个更好？我将要谈到除破产约束外的其他两个因素。第一，假如代理人是风险规避的，相同的货币惩罚和奖励导致
236 惩罚的负效用要高于奖励的效用。第二，回归到平均值很容易导致委托人认为在实际中"大棒"比"胡萝卜"更有效。假设一名老师根据学生的考试表现对学生分配相同效用的惩罚和奖励，实际上学生的努力是不变的。如果学生在考试中很幸运，他表现很好并得到奖励，也有可能在下次考试中表现不好。如果学生不是很幸运，他将受到惩罚，并将在下次测试中做得更好。那位天真的老师就会认为奖励对表现有害而惩罚对表现有利。关于对上述问题的更好的解释和推理过程的其他缺点，参见 Robyn Dawes，*Rational Choice in an Uncertain World*，especially pp. 84－7，1988)。卡尼曼、斯洛维克和特沃斯基（Kahneman，Slovic & Tversky，1982）的文章中也有类似的资料。
- 关于效率工资文献的综述，参见 L. 卡兹的论文（L. Katz，1986)、阿克洛夫和耶伦主编的论文集（Akerlof & Yellen，1986）以及韦斯的长篇论文（Weiss，1990)。
- 效率工资的想法与 5.3 节中正式表述的克莱因和莱弗勒（Klein & Lefler，1981）的产品质量模型在本质上是一样的。如果不能对企图做坏事的参与人进行惩罚，可以通过给他一些可以日后收回的授予来形成惩罚。这些授予可以是高薪工作或忠实的顾客。在政治以及大学管理中常用的**吸收**（co-opting）对手的想法也与其相似。为了安抚极端的学生协会，可以提供给他们办公室，如果他们攻占了系主任的办公室，则收回他们的办公室。拉斯穆森（Rasmusen，1988b）展示了另一个例子：当储户不知道哪一项投资是有风险的而哪一项是无风险的时，他们将给互助银行经理支付高额薪水。由于进行高风险投资将会使他们失去工作，因而高薪可以有效地制止经理的这一行为。
- 逆向选择也能够导致效率工资模型。我们在第 9 章将看到，当顾客不能

直接识别质量时，他将愿意支付高价，以吸引高质量汽车的卖者。

N8.2 锦标赛

- 拉齐尔和罗森（Lazear & Rosen，1981）的论文引发了对锦标赛的强烈兴趣，该文详细论述了风险规避与逆向选择的重要性。安特尔和史密斯（Antle & Smith，1986）的文章是关于管理人员补偿的锦标赛的实证研究。罗森（Rosen，1986）的文章是关于以升迁作为奖励的劳动锦标赛的理论研究。
- 锦标赛的一个例子是两年举行一次的花旗银行新主席的三人竞争。公司指定三个候选人作为副主席：消费者业务部、公司业务部以及法律事务部的负责人。收入报告也分为三个部分，其中两个为消费者业务部和公司业务部（第三个为“投资”业务部，与锦标赛无关）。参见“What Made Reed Wriston's Choice at Citicorp,” *Business Week*，July 2，1984，p. 25。
- 通用汽车曾经在生产工人中使用锦标赛。在一个衰退的年份，管理人员作出可信的威胁，要关掉效率最低的汽车车间。根据报告，这确实提高了效率。该类锦标赛的有趣之处在于它解释了为什么即使当所有车间都相同时，通用的供给曲线也是向上倾斜的，同时还解释了为什么它会拥有超额生产能力。关于每个车间当期业绩的信息应该发布给其他车间吗？“Unions Say Auto Firms Use Interplant Rivalry to Raise Work Quotas,” *Wall Street Journal*，November 8，1983，p. 1。
- 由于代理人不能控制他们的努力，在逆向选择下的锦标赛必须与在道德风险下的有所不同。在逆向选择中锦标赛被用来阻止代理人接受这样的合同，在该合同下他必须与具有更高能力的代理人竞争奖金。
- 当股东想让经理人在某些领域合作时，不同企业管理层之间的锦标赛竞争将会遇到困难。例如，如果经理在设定价格方面共谋，他们也能通过在其他方面共谋减轻相互间的工作压力。
- 假定一个企业执行了一个锦标赛，其中业绩最好的副总裁将成为下一任总裁。在锦标赛开始前企业应解雇最具天赋的副总裁吗？答案不是那么明显。或许在锦标赛的均衡中，天赋先生依仗最初的优势不那么努力地工作，因此所有的副总裁都有努力工作的激励。 237
- 锦标赛能够奖励胜者或惩罚败者。哪一种方式较好呢？纳尔巴夫和斯蒂格利茨（Nalebuff & Stiglitz，1983）的回答是惩罚败者，而拉斯穆森（Rasmusen，1987）则从一个不同的角度对团队也推导出了相似

的结果。纳尔巴夫和斯蒂格利茨的结果取决于不确定性以及在锦标赛中存在大量代理人的假设，而拉斯穆森的结果取决于风险规避。如果代理人是风险规避的，因而其效用函数是凹的，则代理人来自失去某个数量时的效用损失要多于得到同样数量时的效用收益。因此从激励的角度讲，“胡萝卜”要劣于“大棒”。但由于惩罚受到破产或法令约束的限制，该结果将不利于效率。

- 在使用锦标赛时，尽管设计次优合同是为了解决诱发充分努力的问题，但其均衡努力可能比在最优合同下还要大。例如，一个代理人—代理人的合同可能导致零努力，但更好的锦标赛可能过度并导致无效的高努力。仅仅根据对代理人产出的普通分级分配奖励的纯锦标赛要劣于代理人须有一个高于他的追赶者的显著差距才能获胜的锦标赛（Nalebuff & Stiglitz，1983）。使用销售锦标赛的公司除了普通奖励外，还经常有年终奖；在长距离赛跑中为避免出现因最优秀的参赛者“策略赛跑”而引起的沉闷场面，经常会设置非序数奖励。埃伦伯格和伯格纳努（Ehrenberg & Bognanno，1990）提出如果奖金比较低，专业高尔夫选手的得分会下降，特别是在巡回锦标赛末期他们比较累的时候。达根和莱维特（Duggan & Levitt，2002）找到证据指出，如果日本相扑选手已经在保持他们地位的胜利场数以上而对手急需胜利的话，他们会故意输掉比赛。
- 在法雷尔模型中描述的那种组织懈怠现象有着重要的实践含义。在分析官僚时，必须时刻牢记他们对组织兴盛的关心程度远小于对自己利益的关注。在对官僚无能进行抱怨时，对特定官员指名道姓以及向他们传达抱怨的内容将比只讲抽象的道理有用得多。私人企业已经清楚地意识到了顾客能够起到监督代理人的作用。
- 没有信息的参与人可以设计一个计划通过让他们独自报告并对他们的差异进行惩罚的方式来从两个或更多的参与人那里刺探信息，这种想法有其他方面的应用。在法雷尔模型中锦标赛与第 10 章机制设计中的横向检查类似，即没有信息的法庭将惩罚对于相同的私人信息给出不同报告的两个参与人。

N8.3　制度与代理问题

- 即使产品质量不必满足政府标准，卖方或许也会自愿遵从该类标准。Stroh 公司的埃尔兰根牌啤酒在每个瓶子上都骄傲地注明：尽管它是美国产的，但“埃尔兰根的与众不同之处在于它满足了 1516 年制定的德

国酿造纯度标准——‘纯度原则’的严格要求”。家用电器厂商经常会要求独立实验室进行产品检验以得到“标志”，该实践也是自愿遵从标准的例子。

- 股票价格是使用外部分析师来监督经理业绩的一种方法。当通用汽车买入 EDS 之后，它们创造了一种特定类型的股票（GM-E），该股票随 EDS 的业绩而变化，因而能用来对其进行监督。

*N8.6 多个代理人联合生产：霍姆斯特龙团队模型

- **团队理论**。由马尔沙克和拉德纳（Marschak & Radner，1972）发展起来的团队理论是一种更早的处理组织问题的数学方法。在“团队”的早期用法中（与 Holmstrom（1982）的用法不同），几个拥有不同信息但无法相互沟通的代理人必须作出决策。每个代理人所获得的支付均相同，同时他们的问题是协作，而不是激励。 238
- 有效合同（8.9）支持了有效纳什均衡，但它也支持了无效纳什均衡的闭联集。假定在有效均衡中所有工人都付出同样的努力。另一个纳什均衡是，一个工人不工作，而其他工人则必须无效率地努力工作以补偿不工作的工人。
- **隐藏知识的团队合同**：20 世纪 20 年代，国民城市公司分配了 20%的利润来奖励整个管理层。每个管理层人员提交建议公司主席应享有的份额的不记名投票，以及自己除外的每一位符合条件的管理层人员应得数额的估计值的记名投票。根据投票结果，管理委员会决定分配方法（Galbraith，1954，p. 157）。
- **当代理人是风险规避时的最优预算平衡合同**：能证明定理 8.1 对任何合同均成立（而不仅仅是对可微的分配规则），但它确实依赖于风险中性与效用函数的可分性。考虑拉斯穆森（Rasmusen，1987）提供的下述合同：

$$w_i=\begin{cases} b_i, & q\geqslant q(e^*) \\ \begin{cases} 0,\text{以概率}(n-1)/n \\ q,\text{以概率 } 1/n \end{cases}, & q<q(e^*) \end{cases} \tag{8.34}$$

如果工人偷懒，他将会进入一个风险赌博。如果他的风险规避度足够高，他将偏好无风险收益 b_i，所以他不会偷懒。如果代理人的财富无限大，则对任何具有正的风险规避度的代理人，我们都能构建上述这样一个合同，我们要做的只是让风险赌博中的负方接受负支付。

- 诸如（8.9）这样的团队合同不是锦标赛。尽管绝对业绩水平取决于所

有参与人的努力，但其中仅有绝对业绩起作用。

- **预算平衡约束**："充分考虑"（consideration）的法律原则使得达成有约束力的、帕累托次优（Pareto-suboptimal）的承诺十分困难。只有当一个协议超出了承诺范畴时，它才能构成一个法律合同——为了使法庭执行协议，双方必须收到有价值的东西。
- 逆向选择能够引入团队模型。存在能力差异的工人的团队生产联合产出，委托人仅想让高能力的工人加入团队（参见 Rasmusen & Zenger (1990)）。

习 题

8.1 存在误差的监督（容易）

代理人的效用函数为 $U=\sqrt{w}-\alpha e$，其中 $\alpha=1$ 并且 e 可能取 0 或 5 两个数值。他的保留效用水平为 $\overline{U}=9$，在低努力下他的产出为 100，高努力下为 250。委托人是风险中性的并且为稀缺资源，因而代理人争相为委托人工作。委托人不能使工资取决于努力或产出，但如果他愿意的话可以花对他值 10 美元的 5 分钟时间去巡视。如果他巡视，他将观察到代理人在"做白日梦"或
239 "工作"，二者发生的概率取决于代理人的努力水平。他能使工资取决于代理人的这两种状态，所以合同为 $(\underline{w}, \overline{w})$。概率由表 8—2 给出。

表 8—2 **存在误差的监管**

努力	概率	
	做白日梦	工作
低 ($e=0$)	0.6	0.4
高 ($e=5$)	0.1	0.9

(a) 如果代理人得到足够高的报酬因而愿意为委托人工作，则不存在监督时的利润是多少?

(b) 证明在充分信息下高努力是有效的。

(c) 在充分信息下，已知 $\alpha=1.2$，这时高努力仍是有效的吗?

(d) 在非对称信息下，已知 $\alpha=1$，此时参与约束与激励相容约束各是什么?

(e) 在非对称信息下，已知 $\alpha=1$，最优合同是什么?

8.2 存在误差的监督："第二波"（中等难度）（参见 Rubinstein (1979)）

风险中性的个人必须决定是进行 0、1 还是 2 次抢劫。抢劫的社会成本为

10，抢劫犯的收益为 5。抢劫犯不会被判刑并入狱，但警察会殴打任何他们找到的嫌疑犯。表 8—3 给出了进行 0、1 与 2 次抢劫的个人遭到殴打次数的概率，我们知道警察有时会殴打无辜的人。

（a）殴打的负效用 p^* 应被设为多大，才能既使得犯罪行为完全受到遏制，又对无罪的人施加了最小的惩罚？

（b）在均衡中，被殴打的人中有多大百分比是无罪的人？一个无罪的人所得的支付为多少？

表 8—3 **犯　罪**

抢劫次数	被殴打次数		
	0	1	2
0	0.81	0.18	0.01
1	0.60	0.34	0.06
2	0.49	0.42	0.09

（c）现在来考虑一项更灵活的政策，该政策对累犯实施更重的惩罚。如果这样的灵活性是可能的，则对第一次与第二次犯罪者的最优惩罚程度为多少（称之为 p_1 与 p_2）？在该政策下无罪的人的预期效用为多少？

（d）假定现在概率如表 8—4 所示。此时对第一次与第二次犯罪者的最优政策是什么？

表 8—4 **再次犯罪** 240

抢劫次数	被殴打次数		
	0	1	2
0	0.9	0.1	0
1	0.6	0.3	0.1
2	0.5	0.3	0.2

8.3　破产约束（难）

风险中性的委托人雇用效用函数为 $U=w-e$ 和保留效用为 $\bar{U}=5$ 的代理人。努力的取值为 0 或者 10。存在破产约束：$w\geqslant 0$。产出如表 8—5 所示。

表 8—5 **破　产**

努力	产出的概率		
	0	400	总计
低（$e=0$）	0.5	0.5	1
高（$e=10$）	0.2	0.8	1

(a) 如果代理人拥有公司，那么他的努力选择和效用分别是多少？

(b) 如果代理人是稀缺的并且委托人竞相雇用他们，试求充分信息下代理人的合同和效用。

(c) 如果委托人是稀缺的并且代理人竞相为他们工作，试求充分信息下的合同和代理人的效用。

(d) 如果委托人是稀缺的并且代理人竞相为他们工作，试求委托人观测不到努力时的合同以及每个参与人的支付。

(e) 假设不存在破产约束，委托人是稀缺的并且代理人竞相为他们工作，试求委托人观测不到努力时的合同以及委托人和代理人的支付。

8.4 团队（中等难度）

一个由两个工人组成的团队为委托人生产和销售小工具。每个工人选择高或低努力。如果代理人的努力水平高，则效用为 $U=w-20$；如果低则为 $U=w$。他们的保留效用为 $\bar{U}=0$。自然分别以概率 θ_1，θ_2 与 θ_3 选择商业条件为极好、好或者坏。如表 8—6 所示，委托人观察到产出但观察不到商业条件。

表 8—6 团队产出

241

	极好	好	坏
高，高	100	100	60
高，低	100	100	20
低，低	50	20	0

(a) 假定 $\theta_1=\theta_2=\theta_3$。为什么{($w(100)=30$，$w$(非 100)$=0$)，(高，高)}不是一个均衡？

(b) 假定 $\theta_1=\theta_2=\theta_3$。引导高努力是最优的吗？什么是提供非负工资的最优合同？

(c) 假定 $\theta_1=0.5$，$\theta_2=0.5$，$\theta_3=0$。引导高努力是最优的吗？什么是最优合同（可能是提供负工资的合同）？

(d) 委托人应该阻止代理人互相沟通吗？

8.5 效率工资与风险规避（中等难度）（参见 Rasmusen (1992c)）

在两期工作中的任一期，一个工人决定是否盗窃数量 v。如果他确实盗窃的话，他将以 α 的概率被抓住并接受法律惩罚 p。被查获盗窃的工人也可以被解雇，因而得到保留工资 w_0。如果工人不盗窃，则他在本期的效用为 $U(w)$；

如果他盗窃，则为$U(w+v)-\alpha p$，其中$U(w_0+v)-\alpha p>U(w_0)$。工人收入的边际效用递减：$U'>0$，$U''<0$，并且$\lim\limits_{x\to\infty}U'(x)=0$。不存在贴现问题。如果可能的话，企业在每一期都想遏制盗窃。

（a）证明企业能够遏制盗窃，即使是在第二期；并且事实上它可以通过提供高于保留工资w_0的某个第二期工资w_2^*来做到这一点。

（b）证明均衡时的第二期工资w_2^*高于第一期的均衡工资w_1^*。

8.6　游戏天才（中等难度）

一个高科技公司试图开发游戏天才1.0。如果开发成功，它将获得200 000美元的收入，如果失败，收入为0。成功依赖于程序员。如果他提供高努力，成功的概率是0.8；如果他提供低努力，成功的概率是0.6。如果程序员提供低努力，需要的工资至少是50 000美元；如果提供高努力，工资则是70 000美元（我们以千美元来计算支付，则70 000美元被写为70）。

（a）证明高努力是最优效率的。

（b）如果当低努力时成功的概率为0.75，请解释为什么高努力是无效的。

（c）设定低努力时成功的概率仍为0.6，如果不能监控程序员并且也不能对他的偶然性的成功进行支付，那么你该怎么办？

（d）假设你可以对偶然性的成功进行支付，如果游戏天才成功，支付为S，如果失败，支付为F。S和F满足两个条件：参与约束和激励相容约束。请问它们是什么？

（e）试给出满足最优的合同。

（f）如果不可以对程序员支付负工资，最优合同是什么？

8.7　机器（中等难度）

史密斯先生正在考虑从琼斯或者布朗那里购买一台定制的机器。这台机器的建造成本是5 000美元，它只对史密斯来讲是有用的，而对其他人来说都没有用。以下内容为共同知识：在交付时这台机器以90%的概率对于史密斯来讲价值10 000美元和从现在开始的一年内，以10%的概率这台机器价值仅为2 000美元。史密斯拥有1 000美元的资产。在签订合同时，琼斯和布朗相信，史密斯为拥有50 000美元资产的安德森公司担任“未暴露身份的代理人” 242
的概率为20%。

找出在下列两条法令下的价格：（1）未暴露身份的委托人不需要承担他的代理人的债务；（2）未暴露身份的委托人需要承担他的代理人的债务。同样请解释这类道德风险模型支持的是哪些规则。

游说议员者团队：第 8 章的课堂博弈

你们当中一些是制造业公司，一些是农业公司，每个公司由两个人组成。

美国总统要在两项政策中作出决定：自由贸易会为每个农业公司带来 1 000 万美元的收益，保护主义会为每个制造业公司带来 1 000 万美元的收益。

每年每个公司都会把自己支持的政策和它游说议员的花费（数额为 X）写在记事卡上并上交。

无论哪一项政策，获得游说议员花费最多的将胜出。如果你支持的政策胜出，你的支付是 $10-X$；如果失败，你的支付是 $-X$。

在规则中每个人都允许沟通并达成各种协议。

【注释】

[1] 像往常一样，可以通过代入谈判子博弈来对该模型作小的改动，使消费者有强烈的动力还款。这个谈判子博弈是由银行与消费者分享来自交易的收益，而不是指定由银行提供一个“要么接受，要么拒绝”的合同（参见 4.3 节）。我们也可以将博弈改为代理人拥有全部的讨价还价能力，两种形式的该博弈保持类似的结果。

第 9 章
逆向选择

9.1 引言：生产博弈Ⅵ

在第 7 章中，非对称信息博弈被分为有相同代理人的道德风险博弈与代理人存在差异的逆向选择博弈。在隐藏知识的道德风险与逆向选择中，委托人试图挑选出不同类型的代理人。在隐藏知识的道德风险中，我们将重点放在代理人的行动而不是他的合同选择上，因为在取得代理人的信息前他已经接受了合同。在逆向选择下，签约前代理人就拥有了关于自己的类型或世界状态的私人信息，这意味着重点将放在他会接受什么样的合同的问题上。 243

为了与道德风险进行比较，我们来考虑第 7 章与第 8 章中提到的生产博弈的另一种形式。

生产博弈Ⅵ：逆向选择

参与人

委托人与代理人。

博弈顺序

（0）自然根据分布 $F(a)$ 选择代理人的能力 a，代理人可以观测到该选择但委托人观测不到。

（1）委托人提供给代理人一个或多个工资合同 $w_1(q)$，$w_2(q)$，…。

（2）代理人接受一个合同或拒绝所有合同。

(3) 自然根据分布 $G(\theta)$ 选择世界状态的值 θ，并且产出是 $q=q(a,\theta)$。

支付

如果代理人拒绝所有合同，则 $\pi_{代理人}=\bar{U}(a)$，这可以随其类型 a 变化也可以不随其变化，$\pi_{委托人}=0$。否则，$\pi_{代理人}=U(w,a)$，$\pi_{委托人}=V(q-w)$。

244 在逆向选择下，不可合同化的变量是工人的能力而不是他的努力。在不存在不确定性的情况下（即行动（3）），委托人将会仅提供一个合同，该合同对高产出提供高工资，对低产出提供低工资。但与道德风险不同的是，如果两种类型的代理人均接受了合同，则高产出与低产出（或二者的组合）均有可能出现在均衡中。逆向选择与道德风险的另一个区别在于，提供多个合同能够对提供单个合同加以改进。例如，委托人或许会对低能力的代理人提供一个固定工资合同，而对高能力的代理人提供一个激励合同。

生产博弈Ⅵa 中使用特殊函数形式来说明怎样得到均衡。

生产博弈Ⅵa：带特殊参数的逆向选择

参与人

委托人与代理人。

博弈顺序

(0) 自然根据分布 $F(a)$ 选择代理人的能力 a，该能力委托人无法观测到。以概率 0.9 得到低能力 $a=0$，以概率 0.1 得到高能力 $a=10$。

(1) 委托人提供给代理人一个或多个工资合同 $W_1=(w_1(q=0), w_1(q=10))$，$W_2=(w_2(q=0), w_2(q=10))$，…。

(2) 代理人接受一个合同或拒绝所有合同。

(3) 自然根据分布 $G(\theta)$ 选择世界状态的值 θ，该分布对 0 和 10 赋予相同的权重。并且产出是 $q=\text{Min}(a+\theta, 10)$。

支付

如果代理人拒绝所有合同，则依赖于其类型的保留支付或者是 $\bar{U}_{低能力}=3$ 或者是 $\bar{U}_{高能力}=2$，并且委托人的支付是 $\pi_{委托人}=0$。否则，$\pi_{代理人}=w$，$\pi_{委托人}=q-w$。

所以，在生产博弈Ⅵa 中，低能力类型的代理人的产出依赖于世界状态可以是 0 或 10，但高能力的代理人的产出总是 10。不同类型的代理人在保留支付上也不相同：低能力代理人工作要求的期望支付是 3，但高能力的代理人要

求的是 2。更现实的是，高能力的代理人要求更高的保留工资（他的能力在其他的工作中得到认可），但我选择 $\overline{U}_{高能力}=2$ 来说明均衡的一个有意思的特征。

分离均衡是

委托人：提供$W_1=\{w_1(q=0)=3, w_1(q=10)=3\}$

$W_2=\{w_2(q=0)=0, w_2(q=10)=3\}$

低能力代理人：接受 W_1。

高能力代理人：接受 W_2。

同样，这是一个弱均衡。低能力和高能力的代理人都毫不关心他们是接受还是拒绝他们的合同。均衡时代理人的不关心是由开集问题造成的；例如，如果委托人为 W_2 指定工资 3.01，高能力的代理人将不再对接受 W_2 还是 W_1 无所谓。

接下来我们来看我是怎样得到上面的均衡合同的。首先，考虑委托人渴望得到每种类型的代理人的何种行动。代理人不选择努力，但他们选择是否为委托人工作和接受哪一份合同。低能力的代理人的期望产出是 $0.5\times0+0.5\times10=5$，与保留支付 3 相比，如果代理人能够以期望工资 5 或者更低的工资为委托人工作，那么委托人就会想雇用他。高能力的代理人的期望产出是 $0.5\times10+0.5\times10=10$，与保留支付 2 相比，如果代理人能够以期望工资 10 或者更低的工资为委托人工作，那么委托人就会想雇用高能力的代理人。

在隐藏行动模型中，委托人试图构建引导代理人采取唯一合适的行动的一份合同。在隐藏知识模型中，委托人试图作出不同的行动来吸引不同类型的代理人，因此代理人的选择依赖于隐藏知识。在有道德风险和隐藏行动的生产博弈V中，委托人的问题是在下列约束下最大化他的利润：

1. **激励相容**（代理人选择希望的合同和行动）。

2. **参与**（代理人想要合同而不是保留效用）。

在隐藏知识模型中，激励相容约束通常被称为**自选择约束**（self-selection constraint)，因为它引导不同类型的代理人选择不同的合同。与道德风险一个显著的不同是，因为合适的合同依赖于隐藏信息，在分离均衡中存在一个自选择约束全集（每种类型的代理人自己的自选择约束）。第二个显著的不同是，激励相容约束可能变得无效，而不是增加约束。委托人可能决定放弃分离不同类型的代理人，他所要做的就是保证代理人都参加。

这里参与约束如下所示，设 $\pi_i(W_j)$ 表示代理人 i 从合同 j 得到的期望支付，

$$\begin{aligned}\pi_L(w_1)&\geq\overline{U}_{低能力}; \quad 0.5w_1(0)+0.5w_1(10)\geq 3\\ \pi_H(w_2)&\geq\overline{U}_{高能力}; \quad 0.5w_2(10)+0.5w_2(10)\geq 2\end{aligned} \tag{9.1}$$

很明显在我们猜测的均衡中的合同，即 $W_1=(3, 3)$ 和 $W_2=(0, 3)$，满足参与约束。在均衡中，低产出和高产出的工资对于低能力代理人来讲都是要紧的，但对于高能力代理人来说只有高产出的工资是要紧的。然而在每一种世界状态中，两个代理人都是获得相同的工资 3，唯一的不同是合同 W_2，尽管对于高能力代理人来讲它毫无风险，但对于低能力代理人来讲，它是一份充满风险的合同。委托人希望安排无风险的 W_1，即在任何世界状态下工资均相同。

246 在我们的分离均衡中，参与约束对于"坏"类型的代理人是紧的，但对于"好"类型的代理人不是紧的，如果没有比 2 更多的工资，"好"类型的代理人也可以接受这样的低工资。这是典型的逆向选择模型（如果有更多类型的代理人的话，最坏类型的代理人的参与约束是紧的，而其他的不是紧的)。委托人使得坏类型代理人的合同不具有吸引力有两个原因。首先，如果他支付的越少，那么他得到的就越多。其次，当坏类型的代理人的合同越没有吸引力时，好类型的代理人就可以被越不费力地吸引到不同的合同上去。委托人允许好类型的代理人获得比他的保留支付更多的工资，换句话说，好类型的代理人可以隐瞒他的类型并选择坏类型的合同，具有更高技能的好类型的代理人可以从坏类型的合同获得正的支付。这样委托人就不能从好类型的代理人那里获得所有的交易收益，除非他放弃使得他的任何合同对于坏类型的代理人 W_1' 都是可以接受的。

这个均衡的另一个典型特征是，低能力的代理人合同不仅将低能力的代理人压低到他的参与约束，而且是无风险的。一种替代方案是提供给低能力的代理人形式为 $W_1'=(w_l, w_h)$ 的合同，因为 $0.5U(w_l)+0.5U(w_h)\geqslant 3$，所以它也满足参与约束。这在生产博弈Ⅵa 中很容易做到。因为代理人是风险中性的，且当 $U(w)=w$ 时，工资 $W_1'=(0, 6)$ 和 $W_1=(3, 3)$ 使得低能力代理人同样高兴。但 W_1' 对于自选择将会有大问题。因为高能力代理人的产出总是高的，他希望从 W_1' 中得到 6 的期望支付。同样，如果代理人是风险规避的，为了补偿风险，风险合同就不得不有比 W_1 更高的期望工资，这样对于委托人来讲就会有更大的代价。

接下来我们讨论自选择约束，它们是

$$\begin{aligned}&\pi_L(W_1)\geqslant\pi_L(W_2)；\ 0.5w_1(0)+0.5w_1(10)\geqslant 0.5w_2(0)+0.5w_2(10)\\&\pi_H(W_2)\geqslant\pi_H(W_1)；\ 0.5w_2(10)+0.5w_2(10)\geqslant 0.5w_1(10)+0.5w_1(10)\end{aligned}\tag{9.2}$$

（9.2）中的第一个不等式是说，合同 W_2 对低能力代理人有足够低的期望回报可以阻止他接受该合同。第二个不等式是说，对于高能力代理人，工资

合同 W_1 必须比 W_2 有更小的吸引力。猜测的均衡合同 $W_1=(3,3)$ 和 $W_2=(0,3)$ 满足这些要求，将它们的值代入约束中可以验证这一点：

$$\begin{aligned}\pi_L(W_1)\geqslant\pi_L(W_2);\quad & 0.5\times3+0.5\times3\geqslant0.5\times0+0.5\times3\\ \pi_H(W_2)\geqslant\pi_H(W_1);\quad & 0.5\times3+0.5\times3\geqslant0.5\times3+0.5\times3\end{aligned}\tag{9.3}$$

自选择约束对于好类型的代理人是紧的，但对于坏类型不是。这也是典型的逆向选择问题。委托人想要好类型的代理人展示自己的类型，所以他提供至少像坏类型的代理人合同一样有吸引力的合适的合同给好类型的代理人。但是委托人不必提供更有吸引力的合同（这里注意开集问题），所以委托人将最小化他的工资支出并对好类型的代理人选择有同等吸引力的两个合同。在这样做时，委托人要选择一个好类型的代理人的合同，但它对于不能轻易完成高产出的坏类型的代理人而言是严格更糟的。

在生产博弈Ⅵa 中假设 $\overline{U}_{高能力}=2$ 时，已经证明了参与约束怎样对好类型的代理人不必一定是紧的。如果假设 $\overline{U}_{高能力}=3$，仍可以有 $W_2=(0,3)$。但是"3"来自自选择约束的事实将会被含糊掉。并且尽管好类型的代理人的参 247
与约束和激励相容约束不是紧的，这是典型的但绝不是必要的。如果假设 $\overline{U}_{高能力}=4$，我们需要 $W_2=(0,4)$ 以尽可能低的成本来满足参与约束。所以参与约束是紧的但自选择约束不是紧的。尽管如此，建模者还是希望在两类型模型中找到坏类型代理人的参与约束和好类型代理人的自选择约束是紧的，在多类型模型中最坏代理人的参与约束和所有其他代理人的自选择约束是紧的。

一旦自选择约束和参与约束得到满足，不管是弱的还是严格的，代理人将不会偏离他们的均衡行动。所要检查的就是委托人是否会增加他的支付。因为他是从任何一个合同中得益，那他或者把低能力代理人的支付压低至保留支付，或者把高能力代理人的支付压低到完成分离合同所需的最小支付，他就再也降低不了他们的工资了，所以他不能增加支付。

竞争和混同

同有隐藏行动一样，如果在隐藏信息下委托人竞相提供合同，就必须加上**竞争约束**（competition constraint）：均衡合同必须尽可能对代理人有吸引力，否则其他委托人就会有利可图地引诱他离开。均衡要满足在隐藏行动模型中没有的那一部分：或者是**非混同约束**（nonpooling constraint），或者是**不分离约束**（nonseparating constraint）。如果其中一个竞争性的委托人想提供一对分离合同 C_1 和 C_2，他必须使得不仅要依赖于世界状态进行选择的代理人

选择合同 C_1 和 C_2（满足激励相容约束），而且要代理人选择（C_1，C_2）而不是混同合同 C_3（满足非混同约束）。可是在生产博弈Ⅵ中只有一个委托人，所以竞争约束与之毫不相关。

尽管对于接受合同的代理人来说，参与约束必须要满足，但在均衡中他们也不总是接受不同的合同，并且如果他们不这样做，他们也不需要满足自选择约束。

*如果所有类型的代理人在所有状态都选择相同的策略，那么均衡是***混同的**（pooling），*否则均衡是***分离的**（separating）。

混同和分离的区别不同于各种均衡概念之间的区别。一个模型可能有多重纳什均衡，一些是混同的，一些是分离的。此外，单个均衡（即使是混同均衡）可能包括多个合同，但如果是混同均衡，那么代理人将始终采取相同的策略，而不考虑类型。如果代理人的均衡策略是混合的，那么均衡是混同的，如果代理人始终采取相同的混合策略，即使信息和努力会导致博弈的结果不同。

这两个术语在 6.2 节的博士录取博弈中首次出现。在混同均衡中任何类型的学生都没有申请，但是在分离均衡中一种类型的学生提出了申请。在委托—代理模型中，委托人试图设计合同来完成分离，除非激励被证明花费太高。在生产博弈Ⅵ中，均衡是分离的，因为两种不同类型的代理人选择不同的合同。

248 分离合同不需要完全分离。观察到状态变量 $\theta \leqslant 4$ 的代理人接受合同 C_1，但是另一个代理人接受 C_2，这样均衡是分离的，但不是对于任何类型都是分离的。如果代理人的合同选择总是向委托人传递他的私人信息，我们就说均衡是**完全显示的**（fully revealing）。在混同和完全显示均衡之间的均衡是**不完美分离均衡**（imperfectly separating equilibria），有时也被称为**半分离均衡**（semi-separating）、**部分分离均衡**（partially separating）、**部分显示均衡**（partially revealing）和**部分混同均衡**（partially pooling）。

混同均衡的可能性揭示了我们需要采取进一步的措施来确定生产博弈Ⅵa 中提出的分离均衡确实是这样一个均衡：委托人通过提供一个混同合同或者是一种代理人不参加的分离合同，他是否会做得更好？我上面所有的推论都是为了证明代理人不会偏离提到的均衡，但委托人仍可以偏离。

首先，委托人是否倾向于混同？接下来所要做的就是尽可能廉价地诱使两种类型的代理人都来参加。这就要求我们提供的合同刚好被最低能力的和有最高保留支付的低能力代理人接受。合同（3，3）可以做到这一点，但它增加的利润并不能超过在前面均衡中 W_1 和 W_2 的利润。混同均衡和分离均衡得到的利润都是 $0.9\times[0.5\times(0-3)+0.5\times(10-3)]+0.1\times[0.5\times(10-3)+0.5\times(10-3)]=2.5$。

其次，委托人是否倾向于分离合同而放弃一类代理人？尽管委托人可以通过对 $q=0$ 提供高工资而对 $q=10$ 提供低工资来赶走高能力的代理人，但他不会这样做。因为高能力代理人既有高产出，也有低保留支付（如果我们有 $\overline{U}_{高能力}=11$，结果将会不同）。但是如果委托人不提供合同给保留支付为 3 的低能力代理人，那么他对高能力代理人就会更小气。如果没有低能力代理人，委托人就会提供给高能力代理人像（0，2）这样的合同，迫使他们压低到代理人的保留支付，并通过雇用高能力代理人来增加利润。然而这里没有足够多的高能力代理人来使之对于委托人而言成为一个好的策略。他的支付将会降低到 $0.9\times0+0.1\times[0.5\times(10-2)+0.5\times(10-2)]=0.8$，相对于 2.5 而言是一个很大的下降。如果有 99%而不是 10%的代理人是高能力的代理人，事情将会变得不一样。但是有太多能被委托人有效雇用的低能力代理人，使得委托人不得不雇用他们。

生产博弈是逆向选择的一个框架，并且是对逆向选择建模的一个好的基础，但是用逆向选择思想解释日常现象的最著名的框架是二手车市场。我们将在接下来的章节中考虑二手车市场。所有的逆向选择博弈都是不完全信息博弈。但是它们可能包含也可能不包含不确定性——代理人采取他们的第一步行动后，自然开始行动。我们在 9.2 节与 9.3 节中继续使用确定性博弈。在 9.4 节考虑不确定性的影响。第一个博弈将讨论二手车市场，在其中，卖方了解汽车质量而买方不知道，随后根据买卖双方的类型与数目会有各种类型的该博弈。9.4 节将回到保险的一个逆向选择模型中的不确定模型，我们得出的一个结果是，在某些参数值下纯策略纳什均衡将不存在。9.5 节应用逆向选择来解释金融市场中的买卖差价。9.6 节将描述逆向选择的其他一系列应用。

9.2 确定性下的逆向选择：柠檬货Ⅰ与Ⅱ

阿克洛夫（Akerlof，1970）关于劣质二手车（即“柠檬货”）市场的模型 249
引发了一个新的研究领域。在该模型中，逆向选择产生的原因是，卖方比买方更了解汽车的质量。用代理术语来讲，委托人提供合同向代理人购买汽车，但汽车质量（高或者低）不可以合同化（尽管没有不确定性）。

我们将花一些时间给二手车市场模型加入一些变化。博弈中有一个买方和一个卖方，但由于卖方先行动，因而该模型可以模拟买方之间的竞争（如同 7.2 节所讨论的那样）。如果模型中存在对称信息，则将不会存在消费者剩余。将模型看做存在许多卖方通常会方便我们的讨论——我们可以将由自然随机分配类型的一个卖方解释为不同类型卖方的总体，自然将会从中选择一个来参加博弈。

基本的柠檬货模型

参与人

一个买方与一个卖方。

博弈顺序

(0) 自然根据分布 $F(\theta)$ 为卖方选择质量类型 θ。卖方知道 θ，但买方只知道 F 而不知道他所面对的特定卖方的 θ。

(1) 买方提供价格 P。

(2) 卖方接受或拒绝。

支付

如果买方拒绝合同，参与人双方均得到零支付。

否则，$\pi_{买方}=V(\theta)-P$，$\pi_{卖方}=P-U(\theta)$。V 和 U 的定义将在后面给出。

如果没有交易发生，参与人双方的支付均被标准化为零。（标准化在模型中只是为了表达上的方便，而不是作为一个实质性的假设。）在这里，当没有交易发生时，模型分配给参与人的效用基值为零，因而支付函数表示了相对于基值的变动。举例来讲，如果销售发生，卖方将得到 P，但同时因为放弃汽车而损失了 $U(\theta)$。

对函数 $F(\theta)$、$U(\theta)$ 和 $V(\theta)$ 在不同类型的博弈中有不同的设定方式。我们将从相同偏好与两种类型（柠檬货Ⅰ）开始，然后将其一般化为连续类型的情况（柠檬货Ⅱ）。9.3 节首先讨论所有卖方的偏好都相同，对汽车的评价高于买方的情形（柠檬货Ⅲ），然后讨论卖方偏好不一致的情形（柠檬货Ⅳ）。我们也将非正式地讨论涉及风险规避以及买卖双方的相对数目等因素的其他情形。

柠檬货Ⅰ：偏好相同，两种类型的卖方

250 令好车的质量为 6 000 而坏车（柠檬货）的质量为 2 000，因而 $\theta\in\{2\ 000,\ 6\ 000\}$。我们同时假定现有的汽车中一半为好车，另一半为坏车。支付向量（0，0）代表现状，此时买方拥有 50 000 美元而卖方拥有汽车。假定参与人双方均为风险中性的，并且他们对每单位质量的评价均为 1 美元，因此在交易后支付为 $\pi_{买方}=\theta-P$，$\pi_{卖方}=P-\theta$。图 9—1 给出了博弈的扩展式表示。

如果买方能在购买时观测到质量，他将愿意接受对好车支付 6 000 美元而对柠檬货支付 2 000 美元的合同。但实际上他不能观测到质量，同时我们假定

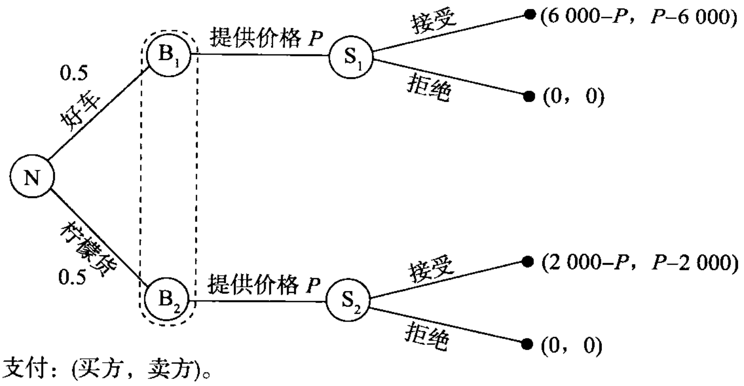


图 9—1　柠檬货 I 的扩展式表示

一旦购买发生，他就不能基于他的发现而执行另外一个合同。给定这些约束，如果卖方提供 4 000 美元（即等于平均质量的价格），买方将会推断出该车必为柠檬货。汽车折价销售的事实说明了它的低质量。由于买方考虑到在 4 000 美元的价格上他只能买到柠檬货，因此不会支付超过 2 000 美元的数额。我们假定无差异的卖方将出售汽车，因而在均衡中将有一半汽车被出售，这时所有出售的汽车均为柠檬货。

一位好心的顾问或许会建议，好车所有者应等到所有柠檬货均被售出后再行动。既然这时所有人都知道市场上剩下的都是好车，好车将以正常价格出售。但允许这样的行为事实上已经给模型增加了新的内容，因而模型发生了改变。如果该行为被大家预期到，柠檬货的所有者也会保留汽车以等待价格上涨。该博弈能够以消耗战博弈来正式分析（3.2 节）。

半数汽车退出市场的结果十分有趣，但既然半数汽车确实有真正的高质量，该结果并不令人吃惊。该模型形式化了格劳乔·马科斯（Groucho Marx）的俏皮话："我将拒绝加入任何接受我为成员的俱乐部。"柠檬货 II 将会提供一个更为戏剧化的结果。

柠檬货 II：偏好相同，连续型卖方

或许有人会认为柠檬货 I 的结果依赖于只有两种类型的假定。柠檬货 II 通过允许卖方是任何连续类型而一般化上述博弈。我们假定质量类型在 251
2 000～6 000之间均匀分布。平均质量为 $\bar{\theta}=4\,000$，该数值就是当所有汽车都在市场上时买方愿意支付给质量未知的汽车的价格。在区间 [2 000，6 000] 上概率密度为 $f(\theta)=1/(6\,000-2\,000)$，在其他区间为零，并且累积密度为

$$F(\theta)=\int_{2\,000}^{\theta} f(x)\mathrm{d}x$$
$$=\int_{2\,000}^{\theta}\frac{1}{4\,000}\mathrm{d}x=\int_{2\,000}^{\theta}\frac{x}{4\,000}$$
$$=\frac{\theta}{4\,000}-0.5 \tag{9.4}$$

支付函数与柠檬货Ⅰ中相同。

同在柠檬货Ⅰ中一样，在柠檬货Ⅱ中当价格为 4 000 美元时，不是所有的汽车都进入市场，因而均衡价格必然低于 4 000 美元。这时只有质量低于 4 000的汽车才会被出售，所以尽管二手车整体的平均质量为 4 000，欲出售汽车的平均质量仅为 3 000。当平均质量为 3 000 时，价格不能维持在 4 000 美元，因而价格至少应降至 3 000 美元。

如果该情况发生，汽车价值为 3 000～4 000 之间的卖方将退出市场，从而剩余的汽车的平均质量降为 2 500。可接受的价格随之降至 2 500 美元，该分拆过程将会持续进行，直至价格达到均衡水平 2 000 美元。但当 $P=2\,000$ 美元时，市场中的汽车数目将会无穷小。市场将完全崩溃！

图 9—2 以二手车的价格和欲出售汽车的平均质量作为两个坐标轴。每个价格导致一个不同的平均质量 $\bar{\theta}(P)$。由于平均质量不是随价格成比例上升，$\bar{\theta}(P)$的斜率大于 1。如果价格上升，欲出售的边际汽车的质量等于新价格，
252 但欲出售的平均汽车质量会更低。在均衡时，平均质量必然等于价格，所以均衡位于通过原点的 45°线上。该线为需求曲线，而 $\bar{\theta}(P)$ 为供给曲线。仅有

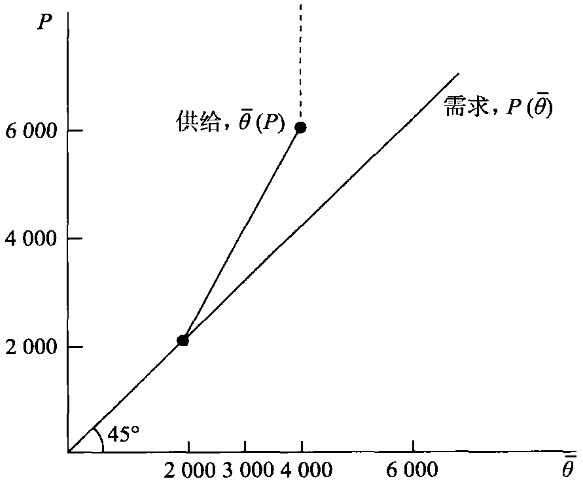


图 9—2 柠檬货Ⅱ：相同偏好

的交点为点（2 000，2 000）。

9.3 异质偏好：柠檬货Ⅲ与Ⅳ

没有汽车进行交易的结果有些极端，但在柠檬货Ⅰ和柠檬货Ⅱ中均没有效率损失。既然所有参与人都有相同的偏好，最后谁拥有汽车将无关紧要。但下面博弈中的参与人由于偏好不同，因此真正需要进行交易。

柠檬货Ⅲ：买方对汽车的评价高于卖方

假定卖方对汽车的评价等于真实质量 θ，但买方的评价比真实质量高出 20%，并且买方数目多于卖方。交易发生时的支付为 $\pi_{买方}=1.2\theta-P$，$\pi_{卖方}=P-\theta$。均衡时卖方将取得交易的收益。

在图 9—3 中，曲线 $\bar{\theta}(P)$ 与在柠檬货Ⅱ中相同，但均衡条件不再是价格与平均质量位于 45°线上，而是它们位于斜率为 1.2（而不是 1.0）的需求曲线 $P(\bar{\theta})$ 上。需求曲线与供给曲线在($P=3\ 000$ 美元，$\bar{\theta}(P)=2\ 500$)处相交。由于买方愿意支付溢价，我们仅观察到**部分逆向选择**（partial adverse selection)，均衡为部分混同的。在完美信息下所有汽车都将由对汽车评价更高的“买方”拥有，但在逆向选择下他们仅拥有低质量的汽车，因而结果将 253
是无效的。

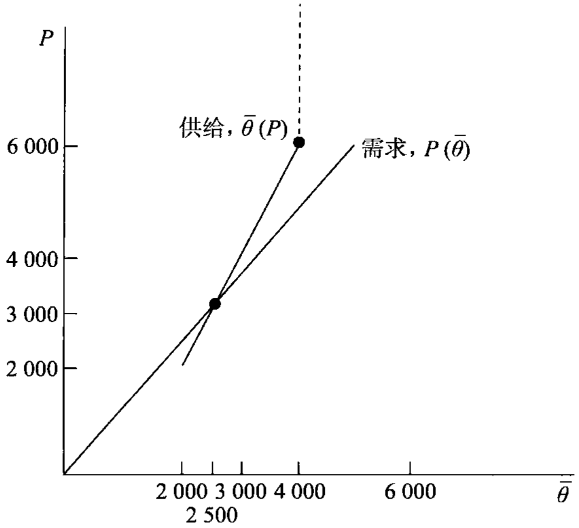


图 9—3　买方对汽车的评价高于卖方：柠檬货Ⅲ

柠檬货Ⅳ：卖方的评价不同

在柠檬货Ⅳ中，我们进一步探究为什么交易会发生，并将卖方模拟为在拥有汽车之后对车的质量评价发生了变化的消费者。对特定的卖方而言，1 单位质量的评价为 $(1+\varepsilon)$，其中随机扰动项 ε 可正可负，但期望为零。扰动项的产生或者是由于卖方的错误——他并没有意识到驾车给他带来的愉悦感；或者是由于条件发生了变化——他的工作场所可能离家更近了。交易发生时的支付为 $\pi_{买方}=\theta-P$，$\pi_{卖方}=P-(1+\varepsilon)\theta$。

如果对于一个特定卖方 $\varepsilon=-0.15$ 并且 $\theta=2\ 000$，则他转让汽车的最低价是 1 700 美元。在价格 P 欲出售的汽车的平均质量是车主评价低于 P 的汽车的期望质量，即

$$\bar{\theta}(P)=E(\theta|(1+\varepsilon)\theta\leqslant P) \tag{9.5}$$

假定数目超过卖方的众多新买方出现在市场上，并令他们对 1 单位质量的评价为 1 美元。需求曲线为通过原点的 45°线，如图 9—4 所示。图 9—4 展示了供给曲线 $\bar{\theta}$ (P) 的一种可能的形状，尽管精确表示供给曲线需要了解扰动项的分布。

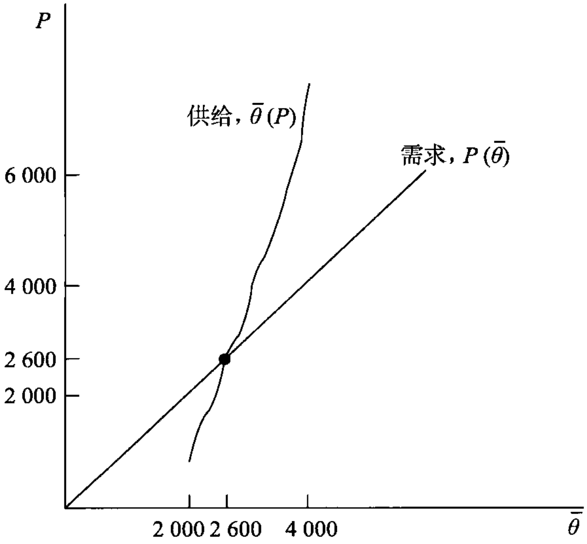


图 9—4 柠檬货Ⅳ：卖方的评价不同

同柠檬货Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ相比，在本例中，即使 $P\geqslant 6\ 000$ 美元，扰动项 ε 为正数的某些车主仍然不愿意出售汽车。即便 $P=6\ 000$ 美元，市场上汽车的平均质量

仍然低于 4 000。另一方面，即使 $P=2\ 000$ 美元，一些拥有低质量汽车并且受到负扰动的卖方仍然会出售，所以平均质量将高于 2 000。在 ε 的某些分布下，一些卖方极其不喜欢他们的汽车，以至于他们愿意付钱请别人取走汽车。 254

图 9—4 中的均衡为（$P=2\ 600$ 美元，$\bar{\theta}=2\ 600$）。一些二手车被出售，但与有效水平相比出售的数量过低。一些卖方拥有高质量的汽车但受到负扰动，尽管他们愿意将车出售给一些评价更高的人，但他们不愿以价格 2 600 美元出售。

四个柠檬货模型所共有的主题是：当买方不知道质量时，交易数量将会过少。柠檬货Ⅰ、Ⅱ说明了交易是如何减少的；而柠檬货Ⅲ、Ⅳ说明了由于一些买方对车的评价高于卖方，交易的消失将是无效的。下面我们将使用柠檬货Ⅲ（它是存在交易收益的最简单模型）来考察三种市场：卖方多于买方、存在超额供给以及买方风险规避。

卖方多于买方

在分析柠檬货Ⅲ时，我们假定买方数目多于卖方，其结果是由卖方获取生产者剩余。在最初的均衡中，所有质量低于 3 000 的卖方提供价格 3 000 美元，从而最多可获得高达 1 000 美元的剩余。买方数目多于卖方，所以每个希望出售的卖方都能够卖出汽车；同时既然价格等于买方的期望效用，不参与购买的买方都不会感到失望。市场达到出清状态。

但如果卖方数目超过买方，则卖方应提供什么价格呢？在 3 000 美元的价格上，并不是所有的潜在卖方都能够找到买方。尽管预期质量将有某种程度的降低，但当卖方提供较低的价格时，卖方仍能找到买方。图 9—3 显示了买方在更低价格与更低质量之间的取舍，在图中，预期的消费者剩余是价格（供给曲线的高度）与需求曲线之间的垂直距离。当价格为 3 000 美元并且平均质量为 2 500 时，买方预期的消费者剩余为零（即 3 000 美元$-1.2\times 2\ 500$ 美元）。买方最喜欢的价格与质量组合为（2 000 美元，2 000），其原因在于，如果存在质量为 $\theta=2\ 000$ 的足够多的卖方来满足需求，每个买方将为对他价值 2 400 美元的汽车支付 $P=2\ 000$ 美元，因而取得 400 美元的剩余。如果存在更少的卖方，均衡价格将更高，从而一些卖方将得到生产者剩余。

不一致的买方：超额供给

威尔逊（Wilson，1980）指出，如果买方对质量的评价不同，市场或许不会出清。假定愿意为 1 单位质量支付 1.2 美元的买方数目超过了卖方数目，但买方史密斯是一个对高质量需求极强的异常者。他愿意为质量是 5 000 或超过

5 000的汽车支付高达 100 000 美元，但对任何更低质量的汽车支付 0 美元。

在不存在史密斯的柠檬货Ⅲ中，最终价格为 3 000 美元，市场平均质量为 2 500，同时市场质量的分布处于 2 000～3 000 之间。在这种情况下，史密斯
255 将以零概率找到他喜欢的汽车，因此对该结果不满意。事实上他将愿意接受 6 000美元的价格，此时所有的汽车（质量从 2 000 到 6 000）都将愿意出售，从而他买到满意汽车的概率从 0 升至 0.25。但史密斯不想购买所有被提供的汽车，所以在均衡中存在两个价格——3 000 美元与 6 000 美元，并且在较高价格上存在超额供给。

令人吃惊的是，史密斯的需求函数向上倾斜。在 3 000 美元的价格上，他不愿意购买；在 6 000 美元的价格上，由于预期质量随价格而提高，他愿意购买。这并不与基本价格理论相抵触，因为此时其他条件不变的标准假定被违反了。在其他条件不变的情况下，价格提高将引起需求量下降，但此时其他条件发生了改变——质量得到了提高。

风险规避

通过对支付函数的选择，我们隐含地假定买方与卖方均为风险中性的。当他们为风险规避的时——即当财富和汽车质量的边际效用递减时，情况会发生变化吗？我们将再一次使用柠檬货Ⅲ，同时假定存在大量买方。

对卖方而言，风险规避未起到任何作用。卖方了解他得到的价格以及他提供的质量，因而不承担任何风险。但由于买方购买了不确定质量的汽车，因而他确实承担了风险。尽管他愿意对已知质量为 3 000 的汽车支付 3 600 美元，但如果他是风险规避的，他将不会对预期质量为 3 000（实际上可能为 2 500或 3 500）的汽车支付那么多钱——质量增加 500 单位给他带来的效用将小于降低 500 单位时所减少的效用。风险规避买方的需求曲线为非线性的，并且处处低于风险中性的买方，因而买方或许愿意为预期质量为 3 000 的汽车支付 2 900 美元。作为结果，均衡具有更低的价格与平均质量。

9.4 不确定性下的逆向选择：保险博弈Ⅲ

如同“道德风险”一样，术语“逆向选择”也来自保险业。在保险中，发生事故时保险公司的支出将高于没有事故时的支出，因此易发生事故的顾客得自保险的收益将超过安全的顾客，这样，保险公司的顾客将被“逆向选择”为那些易发生事故的顾客。罗思柴尔德和斯蒂格利茨（Rothschild & Stiglitz，1976）的论文是关于保险市场中逆向选择问题的经典之作，他们在开篇中指出：“经济理论家习惯于将信息的讨论弃于脚注中。”如今情况已经

发生了巨大的变化。在10年的时间里，信息问题在微观与宏观经济学中都已变得占据优势地位。

我们将遵从罗思柴尔德与斯蒂格利茨（Rothschild & Stiglitz，1976）使用的状态空间图的方法，同时我们将使用8.5节中的保险博弈的一个版本。在道德风险下，史密斯选择小心或粗心。在逆向选择下，史密斯不能影响失窃出现的概率，该概率由自然进行选择。但史密斯可以是安全或不安全的，同时尽管他不能影响汽车失窃的概率，他却知道失窃概率的大小。

保险博弈Ⅲ

256

参与人

史密斯和两个保险公司。

博弈顺序

(0) 自然选择史密斯的类型，其为安全和不安全的概率分别为0.6与0.4。史密斯知道自己的类型，但保险公司不知道。

(1) 每个保险公司提供形式为（x，y）的合同，其中史密斯无条件地支付保费x，并且当失窃发生时得到y单位的补偿。

(2) 史密斯选择一个合同。

(3) 自然选择是否会失窃，史密斯为安全时失窃的概率是0.5，不安全时失窃的概率是0.75。

支付

史密斯所获得的支付取决于他的类型和他接受的合同（x，y）。令$U'>0$，$U''<0$。

$$\pi_{史密斯}(安全)=0.5U(12-x)+0.5U(0+y-x)$$

$$\pi_{史密斯}(不安全)=0.25U(12-x)+0.75U(0+y-x)$$

公司所获得的支付取决于接受合同的顾客的类型，如表9—1所示。

表9—1　保险博弈Ⅲ的支付

公司得到的支付	顾客类型
0	没有顾客
$0.5x+0.5(x-y)$	只有安全顾客
$0.25x+0.75(x-y)$	只有不安全顾客
$0.6[0.5x+0.5(x-y)]+0.4[0.25x+0.75(x-y)]$	安全和不安全顾客都有

史密斯以 0.6 的概率为安全的，以 0.4 的概率为不安全的。如果没有保险，在不失窃与失窃的情况下史密斯的财富分别为 12 和 0，图 9—5 中描述出了他在状态空间中的禀赋 $\omega=(12, 0)$。如果史密斯是安全的，失窃将以 0.5 的概率出现；但如果他是不安全的，失窃的概率为 0.75。史密斯为风险规避的（因为 $U''<0$），而保险公司为风险中性的。

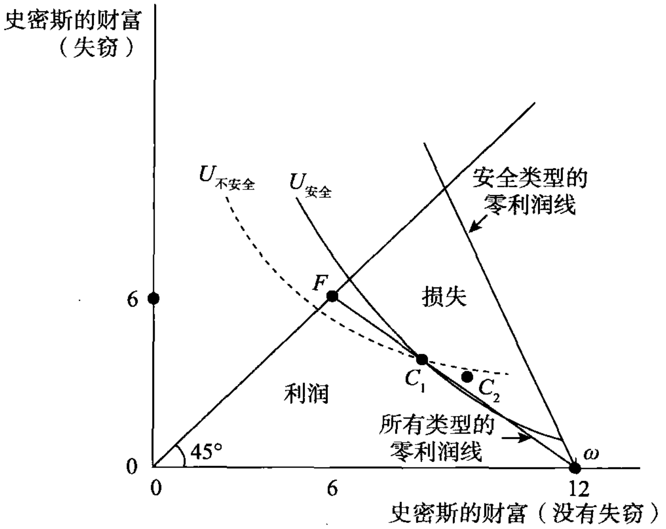


图 9—5 保险博弈Ⅲ：不存在混同均衡

如果保险公司知道史密斯是安全的，它将对史密斯收取 6 单位的保费并在失窃发生时支付 12 单位，因而史密斯的分配为（6，6）。由于为史密斯提供了全保险，因而该合同是在不获利前提下最具吸引力的合同。无论状态如何，他的分配均为 6。

图 9—5 给出了史密斯与保险公司的无差异曲线。以无保险的点 $\omega=(12, 0)$为起始点。高额保费减少了史密斯在两种世界状态下的财富；高额盗窃险
257 支付增加了史密斯在盗窃发生时的财富。保险公司是风险中性的，所以它的无差异曲线是一条斜率为负的直线，为了保持公司利润不变，由在不发生盗窃时史密斯财富的上升引起的公司利润的减少必须由发生盗窃时史密斯财富的下降引起的公司利润的增加来平衡。

如果不管顾客史密斯的类型如何，保险公司基于期望利润的无差异曲线都是 ωF（虽然如果公司知道史密斯是安全的，无差异曲线将会更陡；如果知道史密斯是不安全的，无差异曲线将会平缓一些）。保险公司在 ω 和 C_1 之间无差异，在这两点它的预期利润均为零。史密斯为风险规避的，所以他的无差异曲线是凸的，并且如果失窃概率为 0.5，则在 45°线上最接近原点。他有

两个无差异曲线集：安全时为实线，不安全时为虚线。

图 9—5 表明了不存在纳什混同均衡的原因。为了获取零利润，均衡必须位于直线 ωF 上。为了思考的方便，我们假想存在一个史密斯的总体，并称之为“顾客”。在 ωF 上任取一个合同 C_1，并且考虑不安全顾客和安全顾客经过点 C_1 的无差异曲线。与不安全顾客相比，安全顾客比不安全顾客更愿意以“失窃”财富换取“不失窃”财富。因此，在任何点上实（安全）的无差异曲线将比虚（不安全）的曲线更陡。既然实线与虚线的斜率不同，我们可以在两条线之间加入另一个合同 C_2，并且该合同恰好位于 ωF 的右方。安全顾客偏好 C_2，但不安全顾客偏好 C_1，所以 C_2 对保险公司来说是有利可图的——既然 C_2 仅吸引安全顾客，它不必为避免损失而位于 ωF 的左方。但这样一来，原来的合同 C_1 就不再是纳什均衡；同时，既然我们的论点对任何混同合同均成立，混同均衡就不存在。

将安全顾客从混同中吸引出来被称为**去脂**（cream skimming），尽管对安全顾客而言存在竞争时利润仍然为零。下面我们将使用图 9—6 来考虑分离均衡是否存在。在零利润条件下，安全顾客在 ωC_4 上选取合同，而不安全顾客在 ωC_3 上选取。 258

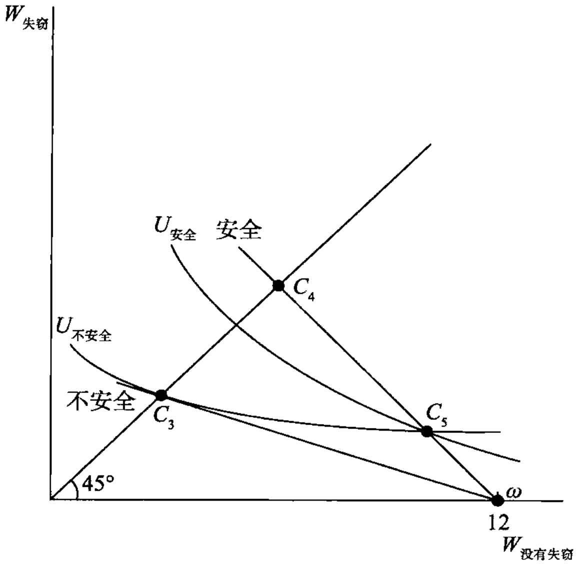


图 9—6 保险博弈Ⅲ的一个分离均衡

在任何均衡中，不安全顾客都将会被完全保险，尽管他们必须付出较高的价格。在零利润线 ωC_3 上，不安全顾客将最喜欢合同 C_3，但安全顾客将不会选取该合同。安全顾客将偏好合同 C_4，但 C_4 一致优于 C_3，所以它也将会

吸引不安全顾客，从而会产生损失。为避免吸引不安全顾客，安全合同必须位于不安全顾客的无差异曲线之下。在不吸引不安全顾客的前提下，合同 C_5 是安全顾客能得到的最完全的保险：它满足自选择约束与竞争约束。

但合同 C_5 或许也不是一个均衡。图 9—7 与图 9—6 大致相同，但它标注了一些额外的坐标点。由于 C_6 位于通过 C_3 与 C_5 的两条无差异曲线的右端，因此如果一个公司提供 C_6，它会将两种类型（安全和不安全）的顾客从 C_3 与 C_5 吸引走。提供 C_6 是否会有利可图？这取决于两种不同类型的顾客的比例。图 9—6 中的均衡假定安全顾客的比例为 0.6，所以混同合同的零利润线为 ωF，因而 C_6 将无利可图。在图 9—7 中我们假定安全顾客的比例更高，所以混同合同的零利润线为 $\omega F'$，则位于其左方的 C_6 是有利可图的。但我们已经证明了不存在构成纳什均衡的混同合同，因而 C_6 不能构成均衡。既然分离组合如（C_3，C_5）与混同合同如 C_6 均不能成为均衡，则不存在任何均衡。

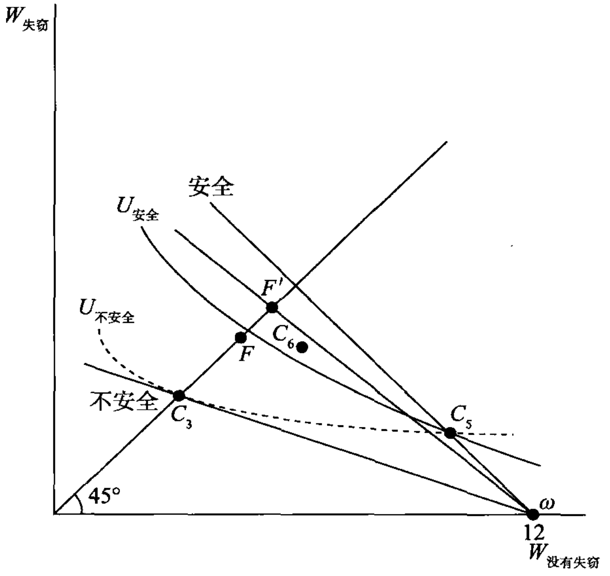


图 9—7　使得保险博弈Ⅲ中不存在均衡的曲线

在这里，不存在性的关键是：如果分离合同被提供，一些公司将愿意提供一个更优的混同合同；但如果一个混同合同被提供，一些公司将愿意提供一个使其无利可图的分离合同。垄断将有一个纯策略均衡，但在竞争性市场中仅存在混合策略纳什均衡（参见 Dasgupta & Maskin（1986））。

*9.5 市场微观结构

投资者认为诸如股票等证券的价格依赖于支持它们的资产的价值。这些价 259
值是高度不确定的，关于它们的新的信息将不断产生。市场微观结构文献关注新信息是如何进入市场的。我们试举例说明，一个拥有关于资产价值的私人信息的交易者希望以此来进行有利可图的交易，但是其他交易者知道某些人可能拥有私人信息。因为一个知情的交易者关于股票的价值有更好的信息，没有一个不知情的交易者想同知情的交易者交易——从市场的另一面的角度看，知情的交易者是一个“坏类型”，所以这是一个逆向选择问题。许多市场已经发展起来的一种制度是“做市商”或“专家”，即在一个股票市场中愿意（同任何人）买卖（任何证券）来保证市场运行的交易者。其他交易者同做市商进行交易比同潜在知情的交易者进行交易感觉更加安全。但这只是将逆向选择问题转嫁给做市商，当他与知情的交易者交易时，他也会有损失。

本节中的两个模型将考虑怎样处理内幕交易问题。他们都是巴杰特（Bagehot，1971）文章中口头模型的衍生模型。（“巴杰特”（Bagehot）是杰克·特雷诺（Jack Treynor）的笔名。正式的模型参见 Glosten & Milgrom（1985）。）在巴杰特的模型中，可能存在也可能不存在一个或多个知情的交易者，但如果他们存在，知情的交易者作为一个整体有固定数额的交易。做市商必须决定买卖差价有多大的变化。在凯尔（Kyle，1985）的模型中，存在一个知情的交易者，他决定交易多大数额。在观察到指令的不平衡后，做市商决定提供什么价格。

巴杰特模型

参与人 260

知情的交易者和两个竞争性的做市商。

博弈顺序

（0）自然以相同概率选择资产价值 v 为 $p_0-\delta$ 或者为 $p_0+\delta$。做市商从来都观测不到资产的价值，他也观测不到是否其他人观测到了资产的价值，但是“知情”的交易者会以概率 θ 观测到 v。

（1）做市商选择他们的差价 s，在他们买入证券时提供价格 $p_{卖出}=p_0-s/2$ 和在他们卖出证券时提供价格 $p_{买入}=p_0+s/2$。

（2）知情的交易者决定是买入 1 单位、卖出 1 单位还是什么也不做。

（3）噪声交易者买入 n 单位，卖出 n 单位。

支付

每个人都是风险中性的。知情的交易者在买入时的支付是 $(v-p_{买入})$，卖出时的支付是 $(p_{卖出}-v)$，什么也不做时的支付是 0。做市商向希望卖出证券的交易者提供最高报价 $p_{卖出}$ 的交易，向希望买入证券的交易者提供最低报价 $p_{买入}$ 的交易。如果做市商提供相同的价格，他们将市场平均分离。做市商卖出 x 单位得到支付 $x(p_{买入}-v)$，买入 x 单位得到支付 $x(v-p_{卖出})$。

最优策略很简单。做市商之间的竞争使得他们的价格相等并且他们的利润为 0。知情的交易者当 $v>p_{买入}$ 时买入，当 $p_{卖出}<v$ 时卖出，当 $v\in[p_{卖出}, p_{买入}]$ 时他没有激励进行交易。

做市商同知情的交易者交易也会有损失，但是如果 $s>0$，那么 $p_{买入}>p_0$ 且 $p_{卖出}<p_0$，他在同噪声交易者进行交易时将获得正的期望收益。因为做市商可以在买入证券或者卖出证券方面实现专业化，那么他必须从任何类型的交易中获得总的零期望利润。将买卖差价的中心定位在股票的期望价格 p_0 保证了这一点。做市商将会以询价 $(p_0+s/2)$ 卖出证券。这会以概率 0.5 超出股票的真实价值 $(p_0-\delta)$，这时知情的交易者不会买入，但做市商会从噪声交易者那里赚取全部的利润 $n[(p_0+s/2)-(p_0-\delta)]$。询价 $(p_0+s/2)$ 会以概率 0.5 低于股票的真实价值 $(p_0+\delta)$，这时知情的交易者会以概率 θ 得到信息并买入 1 单位，噪声交易者会买入 n 单位，所以做市商赚取的总利润 $(n+\theta)[(p_0+s/2)-(p_0+\delta)]$ 是一个负值。为了使做市商以询价卖出所赚取的利润总体为 0，期望利润必须为 0：

$$0.5n\left[\left(p_0+\frac{s}{2}\right)-(p_0-\delta)\right]+0.5(n+\theta)\left[\left(p_0+\frac{s}{2}\right)-(p_0+\delta)\right]=0 \tag{9.6}$$

方程 (9.6) 意味着 $n[s/2+\delta]+(n+\theta)[s/2-\delta]=0$，所以

$$s^*=\frac{2\delta\theta}{2n+\theta} \tag{9.7}$$

261 尽管我们在这里不再进行代数运算，但来自做市商买入证券的利润也必须接近 0，并且得到相同的差价 s^*。

方程 (9.7) 有一系列的含义。首先，差价 s^* 是正的。即使做市商相互竞争和有零交易成本，他们在买卖时也会索要不同的价钱。他们在与噪声交易者交易时赚钱，在与知情的交易者（如果存在）交易时赔钱。相对静态反映

了这些。差价 s^* 关于真实值的离差 δ 是递增的，因为发散的真实值增加了来自与知情的交易者交易的损失；差价 s^* 关于相对于知情的交易者而言的噪声交易者数目 n 是递减的，因为若存在更多的噪声交易者，来自同他们交易的利润会更多。差价 s^* 关于知情的交易者获取内部信息的概率 θ 是递增的，这直觉上是对的，但需要一点计算来证明，使用方程（9.7）：

$$\frac{\partial s^*}{\partial \theta}=\frac{2\delta}{2n+\theta}-\frac{2\delta\theta}{(2n+\theta)^2}=\left(\frac{1}{(2n+\theta)^2}\right)(4\delta n+2\delta\theta-2\delta\theta)>0 \qquad (9.8)$$

市场微观结构的第二个模型是凯尔模型（Kyle model）——因为它通常用来作为其他复杂模型的基础，所以显得很重要。它关注的是知情的交易者的决定而不是做市商的。凯尔模型建立在做市商在选择价格之前可以观测到交易量。

凯尔模型（Kyle，1985）

参与人

知情的交易者和两个竞争性的做市商。

博弈顺序

（0）自然选择资产价值 v，其中 v 服从均值为 p_0、方差为 σ_v^2 的正态分布，知情的交易者观察到自然的行动，但做市商没有观察到。

（1）知情的交易者提供数量为 $x(v)$ 的交易，如果是正值就购买，如果是负值就出售，做市商不能观察到这些。

（2）自然选择噪声交易者的交易数量 u，u 服从均值为 0、方差为 σ_u^2 的正态分布，做市商不能观察到这些。

（3）做市商观测到总体的市场交易 $y=x+u$，并选择价格 $p(y)$。

（4）交易被执行。如果 y 是正值（市场想买入，其为净值），无论哪一个做市商都提供最低价格来执行这些交易；如果 y 是负值（市场想卖出，其为净值），无论哪一个做市商都提供最高价格来执行这些交易。然后向所有人揭示 v。

支付

所有的参与人都是风险中性的。知情的交易者的支付是$(v-p)x$。如果没有交易，做市商的支付是 0；如果有交易，他的支付是 $(p-v)y$。

该博弈的均衡是一个策略组合 262

$$x(v)=(v-p_0)\left(\frac{\sigma_u}{\sigma_v}\right) \tag{9.9}$$

和

$$p(y)=p_0+\left(\frac{\sigma_v}{2\sigma_u}\right)y \tag{9.10}$$

这是合理的。它是说当 v 比 p_0 更大时，知情的交易者会增加他的交易量（如果 $v-p_0<0$，他将会卖出而不是买入），如果 y 变得更大和更多的人想卖出（这是知情的交易者过量交易的指示器），做市商会提高他索要的价格。资产值的方差（σ_v^2）和噪声交易者的方差（σ_u^2）是作为一个整体预期来参与的，并且它们只是相互影响。如果 σ_v^2/σ_u^2 大，那么资产值波动会大于噪声交易的数量，这样知情的交易者很难将他们的交易隐藏在噪声交易中。知情的交易者将会减少交易，一个给定数量的交易将会引起做市商很大的反应。有人可能会说市场是缺乏流动性的：一个给定大小的交易会对价格有很大的影响。

我不会（也不能）证明均衡的唯一性，因为检查所有可能的非线性策略组合很困难，但是我将证明｛(9.9)，(9.10)｝是纳什均衡并且是唯一的线性均衡。首先，假设有信息的交易者使用一个线性策略，所以

$$x(v)=\alpha+\beta v \tag{9.11}$$

式中，α 和 β 为常数。做市商之间的竞争意味着他们的期望利润是 0，这就要求他们提供的价格为 v 的期望值。所以给定数据 y，他们的均衡策略 $p(y)$ 是 v 的无偏估计，并且他们知道 y 是服从正态分布的且

$$\begin{aligned}y&=x+u\\&=\alpha+\beta v+u\end{aligned} \tag{9.12}$$

这意味着根据普通回归原理（不熟悉统计学的读者必须毫不怀疑地接受），给定数据 y，则 v 的最优估计是

$$\begin{aligned}E(v|y)&=E(v)+\left(\frac{\mathrm{cov}(v,y)}{\mathrm{var}(y)}\right)y\\&=p_0+\left(\frac{\beta\sigma_v^2}{\beta^2\sigma_v^2+\sigma_u^2}\right)y\\&=p_0+\lambda y\end{aligned} \tag{9.13}$$

式中，λ 为关于圆括号内部分式项的简写变量。

263 在 x 是关于 v 的线性函数的假设下，函数 $p(y)$ 是关于 y 的线性函数。给定 $p(y)=p_0+\lambda y$，接下来要证明的是 x 确实是关于 v 的线性函数。首先写

出知情的交易者的期望支付，即

$$\begin{aligned} E\pi_i &= E([v-p(y)]x) \\ &= E([v-p_0-\lambda(x+u)]x) \\ &= [v-p_0-\lambda(x+0)]x \end{aligned} \tag{9.14}$$

因为 $E(u)=0$。关于 x 最大化期望支付，得到一阶条件

$$v-p_0-2\lambda x=0 \tag{9.15}$$

整理上式，得到

$$x=-\frac{p_0}{2\lambda}+\left(\frac{1}{2\lambda}\right)v \tag{9.16}$$

给定 $p(y)$ 是线性的，方程（9.16）确定了 $x(v)$ 是线性的。剩下的就是找到 λ 的值。比较（9.16）式和（9.11）式，我们看到 $\beta=1/2\lambda$，将（9.13）式中的 β 替换为 λ 的值，得到

$$\lambda=\frac{\beta\sigma_v^2}{\beta^2\sigma_v^2+\sigma_u^2}=\frac{\frac{\sigma_v^2}{2\lambda}}{\frac{\sigma_v^2}{(4\lambda^2)}+\sigma_u^2} \tag{9.17}$$

求解 λ，得到 $\lambda=\frac{\sigma_v}{2\sigma_u}$。因为 $\beta=1/2\lambda$，得到 $\beta=\sigma_u/\sigma_v$。λ 和 β 的值结合方程（9.16）给出了开始时在方程（9.9）和（9.10）中宣称的策略。

巴杰特模型或许给出了即使在竞争条件和零交易费用下为什么做市商还收取买卖差价的更好的解释。它的假设是：做市商不能依据交易量改变价格，但是它必须提供一个价格并接受出现的任何指令——买入指令或者卖出指令。

金融领域中主要的两块是公司财务和资产定价。公司财务（像项目选择、资产结构和兼并等方向的研究）已经有博弈论最浅显易懂的应用，但是巴杰特模型和凯尔模型表明，相同的技术在资产定价中也有重要应用。我推荐哈里斯和拉维的著作（Harris & Ravi，1995）。

*9.6　多种应用

价格发散

通常用来解释价格发散（price dispersion）的最佳模型是搜索模型（search model）。例如，夏洛普和斯蒂格利茨（Salop & Stiglitz，1977）的模

型假定买方的搜索成本不同。尽管我们在 9.3 节中对存在质量关注型消费者
264（史密斯）的柠檬货模型一笔带过，但事实上该模型不但产生了超额供给，而且产生了价格发散。相同平均质量的汽车被以3 000美元和 6 000 美元出售。

类似地，尽管对于不同品牌的立体声扩音器以不同价格出售这一现象的最明显的解释是顾客愿意为高质量支付高价格，但逆向选择提供了另一个解释。顾客愿意支付高价格的原因或许在于他们知道高价格品牌同时包括高质量与低质量扩音器，而低价格品牌必然为低质量的。结果低质量扩音器以两个价格出售：与高质量扩音器竞争的高价格；在不同的商店或者以不同的名字出售给相对不太关注质量的消费者的低价格。

该解释依赖于付出较大的固定成本或运营成本的扩音器的销售者。否则，太多的低质量品牌会挤入市场，从而高质量品牌的比例将会太小，以至于消费者不愿意支付高价格。低质量品牌作为一个整体会从进入限制中获益：太多的低质量品牌通过降低平均质量（而不是价格竞争）扰乱了市场。

健康保险

由于人们健康程度的差异，医疗保险容易面临逆向选择的问题。老年人中的健康差异特别显著，因而他们经常难以获得任何保险。从基本经济理论的角度来看，该现象是一个谜：价格应上升，直到供给等于需求。该问题是混同的：当保险价格适用于平均的老年人时，更健康的人会停止购买。为保持利润非负，价格必须上升，因而同在柠檬货Ⅱ中一样，市场将会消失。

如果以上论述符合事实的话，逆向选择将成为政府强制混同的一个论据。如果所有的老年人都被要求购买政府保险，则尽管他们当中较健康者的处境会变坏，但大多数人会受益。

然而，利用逆向选择来证明医疗保险制度的正当性突出了本书中许多模型的危险性。对政策问题而言，最好的默认观点为市场是有效的。但进一步的考虑会发现，策略性行为或信息不对称导致许多市场是无效的。但立马就得出政府应进行干预的结论将是危险的，其原因在于，应用于政府的相同论据表明，治疗有时可能比疾病更糟糕。健康保健的分析者应仔细考虑来自政府保险的道德风险与寻租行为。当政府进行支付时，医生和医院将提高治疗的成本与数量，同时从年轻人到老年人的财富转移（它很可能会吞噬得自效率提高的收益）或许会令政府方案的形成偏离经济学家的理念。

亨利·福特 5 美元的日工资

1914 年，亨利·福特作出了一个广受关注的决定——将汽车工人的日工

资提高到远高于市场工资的 5 美元。这不是来自工人（当时还没有工会）的压力。福特为什么要这样做?

提高工资既能用道德风险，也能用逆向选择来解释。与效率工资的想法一致（8.1 节），福特或许想令工人担心失去在工厂里的高薪工作，因而使他们更努力地工作并克制自己偷懒。逆向选择也能解释工资上升：通过提高工资，福特同时吸引了高质量与低质量工人，而不仅仅是低质量工人（参见 Raff & Summers (1987)）。 265

银行贷款

假定两个人找你要求 10 000 美元的无担保贷款。其中一个人提供 10%的利率，而另一个人肯出 200%的利率。你将会接受哪一个呢? 同 9.3 节中杰尔斯·威尔逊的选择以高价购买汽车的汽车购买者一样，你或许会选择以低利率贷款。

如果贷款者提升利率，由于逆向选择与道德风险导致违约率提高，贷款申请者的类型与他们的行为均会发生变化。预期会违约的借款者不像可信任的借款者那样关心高利率，所以贷出数目减少，并且预期违约率提高（参见 Stiglitz & Weiss (1981))。另外，一些借款者转至高风险项目，这些项目有更高的违约可能，但成功时会获得更高的收益。在 6.6 节中我们论述了戴蒙德模型（Diamond, 1989)，该模型关注当企业衰落时以上问题的演变。

不管是由于道德风险还是逆向选择，非对称信息都会导致对银行贷款的超额需求。在均衡利率水平上，作为银行所有者的储蓄者的存款不足以满足所有借款者的贷款需求。因此银行或许会对约翰提供贷款，但同时拒绝乔的要求——尽管二者几乎没有任何区别。政策制定者应认真考虑对禁止随意的贷款准则或要求银行平等对待所有顾客的法律。一个银行或许希望将它的贷款限于惯用左手的顾客，但这不是由于偏见或他们的信贷风险更小，其真正的原因在于，当根据一些非常随意的准则分配贷款时可以避免贷款管理者发生偏袒的道德风险。

伯南克（Bernanke, 1983）用银行贷款中的逆向选择来解释美国的大萧条。解释大萧条的困难不在于最初的股票市场崩盘，而在于随之发生的持续性失业。伯南克认为崩盘弄垮了地方银行并分散了信贷人员的专业技能。在损失了专业技能后，由于逆向选择的存在，剩下的银行更不愿意贷款，这使得经济的复苏更加困难。

逆向选择的解决方法

同道德风险的威胁一样，即使在市场上它明显不存在，逆向选择的威胁也能对市场制度产生重要影响。除了我们已经分析过的可合同化的解之外，还有许多其他方式可以绕过逆向选择解决问题。我们将通过二手车市场来讨论其中的部分方法。

一套方法是通过使汽车质量可合同化来解决问题。如果卖方存在欺骗性行为，发现汽车质量有缺陷的买方可以诉诸法律，尽管在美国由于存在办案拖延以及诉讼成本高昂等问题而使上法庭不能完全奏效。其他政府机构（如
266 联邦贸易委员会）可以通过对产业进行特定管制而做得更好。即使不存在管制，对一旦汽车出现问题承诺保修的私人保证书也会比口头承诺更容易执行，因为它清晰地规定了什么质量水平将得到保障。

测试（等价于道德风险下的监督）经常在某种程度上被使用。未来此车的驾驶者通过在路上试车或检查车身等措施来减轻信息不对称。他甚至可以通过花钱雇用技师而改变不对称的方向，汽车技师可以告诉你比车主所了解的更多的信息。该规则不可能总是适用的：你应该对愿意花 500 美元购买一把明显无价值的旧椅子的文物商作出什么反应呢？

正像它可以解决道德风险问题一样，声誉（reputation）也可以解决逆向选择问题，但条件是交易重复进行以及第 5 章与第 6 章中模型的其他条件得以满足。一个几乎相反的解决方法是销售动机为单纯的，例如汽车的所有者遭受破产并且他的债主为避免保存成本而便宜出售汽车。

非严格经济意义上的惩罚也是重要的。一个例子是由从卖方那里购买柠檬货的朋友对其实施的社会疏远——卖方不再被邀请来做客。或者，卖方或许有不欺骗买方的道德原则。只要这样的原则是共同知识，则它们会有助于卖方在二手车市场上取得高价格。阿克洛夫在 1980 年与 1983 年的论文中研究了社会习俗与市场的相互作用。其中第二篇文章直接讨论了灌输道德原则的价值，并使用理论例子说明父母希望教给孩子道德原则，同时指出社会在作出雇佣决策时或许会偏好精英学校毕业的学生。

通过违反完全竞争所要求的假定，非对称信息使政府与社会机构提高了效率。这指出了研究非对称信息的一个主要原因：当非经济干预很重要时，它将会是有利的（而非有害的）。我发现社会解决方法（social solutions）特别有趣，正如前面在健康保健中提到的，因为政府解决方法在解决信息问题的同时引入了同样严重的代理问题。与完全竞争形成对比，逆向选择下的非经济行为是重要的，这导致不论交易者的道德信念如何，“看不见的手”都会

引导市场达到效率。如果每个人都是诚实的，则由于卖方会真实显示质量，柠檬货问题将会消失。如果一部分卖方是诚实的，但买方不能将他们与不诚实卖方区分开来，可以想象，结果将位于完全诚实与完全不诚实之间。市场伦理学的领域是重要的，并且它会得益于受过经济分析训练的学者的研究。

9.7 逆向选择和道德风险联合：生产博弈Ⅶ

当逆向选择和道德风险联合的时候会发生什么呢？在逆向选择和道德风险联合的情况下，代理人在博弈开始时具有私人信息，并随着博弈的进程采取不可观测的行动。生产博弈Ⅶ表明了一种可能，这会被用在第 10 章开始的一个模型中。

生产博弈Ⅶ：逆向选择和道德风险

267

参与人

委托人与代理人。

博弈顺序

(0) 自然根据分布 $F(s)$ 选择世界的状态 s，这可以被代理人观测到，但委托人观测不到，世界的状态依等概率分为好和坏。

(1) 委托人提供给代理人一个工资合同 $w(q)$。

(2) 代理人接受或拒绝合同。

(3) 代理人选择努力水平 e。

(4) 产出为 $q=q(e, s)$，其中 $q(e,好)=3e$ 和 $q(e,坏)=e$。

支付

如果代理人拒绝所有合同，则 $\pi_{代理人}=\bar{U}=0$ 和 $\pi_{委托人}=0$。否则，$\pi_{代理人}=U(e, w, s)=w-e^2$ 和 $\pi_{委托人}=V(q-w)=q-w$。

因此，没有不确定性，委托人和代理人关于工资都是风险中性的，并且努力是有成本地递增的。

在这个模型中，最优努力依赖于世界的状态。两个社会剩余最大化问题是

$$\underset{e_g}{\text{Maximize}} \quad 3e_g-e_g^2 \tag{9.18}$$

这可以通过好状态下最优努力 $e_g=0.5$（和 $q_g=4.5$）来求解，和

$$\underset{e_g}{\text{Maximize}} \quad e_b - e_b^2 \tag{9.19}$$

这可以通过坏状态下最优努力 $e_b=0.5$（和 $q_b=0.5$）来求解。

问题是委托人不知道什么样的努力和结果是适合的。他并不想在两种状态下都是高产出，因为如果他那样做，他将不得不支付给代理人很高的工资来补偿在坏状态下获得高产出的困难。相反，他必须求解下列问题：

$$\underset{q_g,\, q_b,\, w_g,\, w_b}{\text{Maximize}} \; [0.5(q_g - w_g) + 0.5(q_b - w_b)] \tag{9.20}$$

其中代理人在两种强制合同（q_g，w_g）和（q_b，w_b）之间选择，并且合同必须引出参与约束和自选择约束。

自选择约束是基于好状态下的努力 $e=q/3$ 和坏状态下的努力 $e=q$。在好状态下，代理人必须选择好状态合同，所以

$$\pi_{\text{代理人}}(q_g,\, w_g \mid \text{好}) = w_g - \left(\frac{q_g}{3}\right)^2 \geqslant \pi_{\text{代理人}}(q_b,\, w_b \mid \text{好}) = w_b - \left(\frac{q_b}{3}\right)^2 \tag{9.21}$$

268 在坏状态下，他一定选择坏状态合同，所以

$$\pi_{\text{代理人}}(q_b,\, w_b \mid \text{坏}) = w_b - q_b^2 \geqslant \pi_{\text{代理人}}(q_g, w_g \mid \text{坏}) = w_g - q_g^2 \tag{9.22}$$

参与约束是

$$\pi_{\text{代理人}}(q_g,\, w_g \mid \text{好}) = w_g - \left(\frac{q_g}{3}\right)^2 \geqslant 0 \tag{9.23}$$

和

$$\pi_{\text{代理人}}(q_b,\, w_b \mid \text{坏}) = w_b - q_b^2 \geqslant 0 \tag{9.24}$$

坏状态下的参与约束是紧的，因为在坏状态下代理人不会被好状态合同的更高的产出和工资所诱惑。因此，从（9.24）式我们可以得出结论

$$w_b = q_b^2 \tag{9.25}$$

好状态下的参与约束不是紧的，因为代理人在信息租金下会离开——委托人必须给代理人一些剩余来引诱他展现好的状态。

好状态的自选择约束是紧的，因为在好状态下代理人将会被引诱到适合坏状态的更容易的合同。所以，我们可以从约束（9.21）中得到

$$w_g = \left(\frac{q_g}{3}\right)^2 + w_b - \left(\frac{q_b}{3}\right)^2$$

$$=\left(\frac{q_g}{3}\right)^2+q_b^2-\left(\frac{q_b}{3}\right)^2 \tag{9.26}$$

其中第二步对 w_b 的替代来自（9.25）式。坏状态的自选择约束不是紧的，因为代理人不会被引诱生产大量产出来得到高工资。

现在我们回到委托人最大化问题。我们已经找到了 w_b 和 w_g 的表达式，于是可以将（9.20）式重新写为无约束的

$$\underset{q_g,\, q_b}{\text{Maximize}}\left[0.5\left(q_g-\left(\frac{q_g}{3}\right)^2-q_b^2+\left(\frac{q_b}{3}\right)^2\right)+0.5(q_b-q_b^2)\right] \tag{9.27}$$

一阶条件是

$$0.5\left(1-\frac{2q_g}{9}\right)=0 \tag{9.28}$$

所以 $q_g=4.5$，和

$$0.5\left(-2q_b+\frac{2q_b}{9}\right)+0.5(1-2q_b)=0 \tag{9.29}$$

所以 $q_b\approx0.26$。接着我们可以找到满足约束的工资，$w_g\approx2.32$ 和 $w_b\approx0.07$。

因此，在次优的信息对称世界中，好状态下的努力保持最优努力，但是坏状态下的次优努力比最优更低。这是由于委托人需要将坏状态合同保持在不比好状态合同更有吸引力。坏状态结果和补偿必须禁止。换句话说，因为代理人不会被引诱到坏状态的合同上，所以好状态结果应该在最优水平上。 269

同样，可以看到在好状态下代理人将获得信息租金。正如前面所解释的那样，这是因为好状态下代理人总是可以通过假称状态是坏的和采取坏状态合同来获得正的支付。所以任何可以分离出好状态代理人的合同（同时留下一些坏状态代理人可以接受的合同）一定有正的支付。

注

N9.1 引言：生产博弈Ⅵ

- 在隐藏知识的道德风险中，合同一定要满足唯一的参与约束，然而在逆向选择问题中，不同类型的代理人有不同的参与约束。一个例外是如果有约束限制代理人在不同的世界状态下的受惩罚程度。例如，如果有破产约束，那么如果代理人在 N 个不同的世界状态下有不同的财富，除了单独的参与约束外，还有 N 个关于他的工资负值程度的约束。这可以被看做 N 个**临时**（interim）的参与约束，因为它们代表以下想

法：一旦代理人在博弈半途中观察到世界的状态，他就想摆脱合同。

- 格雷欣法则（Gresham's Law）（“劣币驱逐良币”）陈述了某种逆向选择问题。如果付款者比收款者更了解他的货币质量，那么仅有成色低的（debased）货币会流通。当质量为共同知识，但由于法律原因收款者不能根据质量拒收货币时，上述结果也会出现。第一种情况的例子是低含银量的劣质罗马银币；第二种情况的例子是汇率被高估的赞比亚货币。
- 在大多数的逆向选择模型中，一种类型的代理人想要混同而另一种宁可分离，因而他们的类型可以被称为“好”与“坏”。可能出现的另一种情况是，在模型中两种类型的代理人都愿意分离（例如，某种类型的工人喜欢白班而另一种喜欢夜班），或者两种类型的代理人都愿意混同（例如，男女大学生）。
- 在劳动力市场上存在着两个有趣的现象。其中之一为产出能力差异很大的工人被支付相同的工资，另一个现象是在雇佣决策中测试未被经常使用。施密德和朱迪希（Schmide & Judiesch）发现，在仅要求非技能或半技能的蓝领工人的工作中，前1%的工人（基于与产出不直接相关的能力测试）的生产能力比平均水平高50%。在被认为是“高复杂性”的工作中，差异为127%。（参见 Seligman（1992，p. 145）中的引文。）

几乎与阿克洛夫（Akerlof，1970）同时，米尔利斯（Mirrlees，1971）提供了另一篇关于逆向选择的开创性论文——尽管它们之间的联系直到后来才变得清楚。米尔利斯关注最优税收问题，并研究了在给定公民获取收入的能力不可观测的情况下，政府如何选择税收方案的问题，该文开创了机制设计理论的先河。二手车与收入税的问题并不相似，但在两种情况下，一个不知情的参与人都必须决定如何应对一个类型不为他所知的参与人。10.4 节将给出在政府采购（government procurement）模型中的米尔利斯模型（Mirrlees，1971）的一个派生问题：多数政府政策的目的是在从具有优势信息的个人那里获取信息的同时，以最小成本对有效率行为进行激励。

270

N9.2 确定性下的逆向选择：柠檬货Ⅰ与Ⅱ

- 假定柠檬货Ⅱ中的汽车使用两期并且不存在物质损耗。一个不知情的经济学家观察市场会看到新车以 6 000 美元出售（3 000 美元的两倍），而二手车以 2 000 美元出售，因而得出服务流减少了 33%的结论。折

旧与逆向选择很难通过使用市场数据区分开来。

- 柠檬货Ⅱ使用了均匀分布。对一般的分布 F，质量小于或等于 P 的汽车的平均质量 $\bar{\theta}(P)$ 为

$$\bar{\theta}(P)=E(\theta\mid\theta\leqslant P)=\frac{\int_{-\infty}^{P}xF'(x)\mathrm{d}x}{F(P)} \tag{9.30}$$

方程（9.30）在物理学（重心方程）与非线性经济计量学（似然方程）中均得到应用。可以将 $\bar{\theta}(P)$ 看做不高于 P 的 θ 值的加权平均值，其权重为密度。因为在分子中已经乘以了所有权重，我们必须在分母中除以它们的"和"，$F(P)=\int_{-\infty}^{P}F'(x)\mathrm{d}x$，因而得到了方程（9.30）。

N9.3 异质偏好：柠檬货Ⅲ与Ⅳ

- 既然卖方通常更富有，因而你或许会反对在模型中规定二手车的买方对质量的评价高于卖方。要记住这里的质量为"二手车质量"，这与"汽车质量"不同。在不放弃基本模型的前提下，效用函数能被规定得更复杂。例如，我们可以设定 $\pi_{买方}=\theta+k/\theta-P$，其中 $\theta^2>k$。该设定暗示汽车质量越低，买方与卖方之间的评价差异就会越大。
- 在阿克洛夫（Akerlof，1970）的原始论文中新车质量在 0 与 2 之间均匀分布，同时模型设定有很大的不同，其中需求与供给由不同类型的交易者提供，并且净供给与总供给的表述十分模糊。在一般情况下，对交易者同时出售与消费自己禀赋的情形建模的最好方法是仅使用总供给与总需求。每个所有者将汽车置于市场，但由于比其他消费者更了解自己的汽车，在均衡时他或许会将之买回。否则，很容易对一单位需求重复计算两次——一次在需求曲线，一次在净供给曲线。
- 斯蒂格利茨（Stiglitz，1987）对价格与质量的关系提供了一个很好的综述。对"攀比"（bandwagon）、"虚荣"（snod）与"维布伦"（veblen）商品市场，莱本施泰因（Leibenstein，1950）使用图形分析了市场价格与个人需求的关系。
- 风险规避只与结果的可变性有关，而与绝对水平无关。如果二手车质量在 2 000 与 6 000 之间变动，购买二手车是有风险的。如果所有的二手车质量均为 2 000，购买二手车是无风险的，因为这时买方确切地知道他正在购买什么。

在 9.4 节中的"保险博弈Ⅲ"中，提供给不安全消费者的分离合

同对其进行了全保险：他不承担风险。但在构造均衡时，我们必须注意防止不安全者受到为安全者设计的风险合同的诱惑。风险是坏东西，但像老年人的情况一样，没有将会更糟。如果史密斯确信他的汽车会被盗，由于他注定要得到低效用，他将没有承担任何风险。

- 对柠檬货Ⅰ的买方而言，由于他们不知道 ε 的实现值，给定价格下汽车的平均质量为随机的。对他们而言，曲线 $\bar{\theta}$（P）仅为平均质量的期望。
- **柠檬货Ⅲ′：0 单位的最低质量**。如果在柠檬货Ⅲ中汽车的最低质量为 0（而不是 2 000），则出现的博弈（柠檬货Ⅲ）将会接近阿克洛夫（Ak-
271 erlof，1970）最初的设定。如图 9—8 所示，供给与需求曲线在原点相交，因而均衡价格为 0 并且没有汽车进行交易。由于在柠檬货Ⅱ中描述的揭示效应（unravelling effect），市场完全消失。尽管买方愿意接受低于货币价格的质量，但买方愿意支付的价格随质量上升的幅度低于为从卖方那里取得平均质量所要求的价格变化，并且买方与卖方对最低质量汽车的评价相同。超出 0 单位 20%的数量仍为 0。这里的效率暗示比以前还要强，因为在最优的情况下，所有的二手车都被出售给新的买方，但在这时的均衡中没有汽车交易。

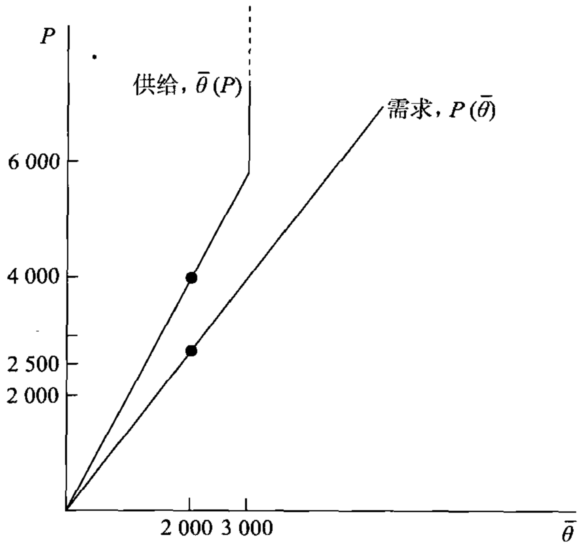


图 9—8 柠檬货Ⅲ：买方对车评价更高，并且最低质量为零

N9.4 不确定性下的逆向选择：保险博弈Ⅲ

- 由于容易区分为数众多的男性与女性，并且性别差异对保险很重要，

因而在保险业中存在两种类型顾客的市场很普遍。在汽车保险中25岁以下的男性支付比女性高一倍的保费，而在生命保险中女性支付的数额要低10%～30%。但差异为双向的，例如在医疗保险中安泰保险（Aetna）对35岁的妇女收取比男性高出30%～50%的费用。在伤残保险（disability insurance）中费率的差异很小。女性的事故率确实更高，但由于只有相对少的女性购买该保险，费率为相同的（*Wall Street Journal*，August 27，1987，p. 21）。

N9.6 多种应用

- 经济学教授有时在学生考试中使用自选择。在一次MBA考试中，我的一位同事在规定必须回答问题5或问题6之后，给出了如下说明：

  问题5的分数低于问题6。但问题5比较容易，中等水平的学生应该可以正确地回答。问题6的难度更大，只有那些充分理解并消化了课程内容的人才能正确回答……如果要取得A或更高的分数必须成功 272
  地回答问题6。

  我的另一位同事采用了另外一种方法，即询问是否有人愿意不参加期末考试并获得A-。愿意的学生得到了A-，其余的学生则得到A。但没有人需要参加考试（该方法确实令一些学生沮丧）。更正式地，瓜施和韦斯（Guasch & Weiss，1980）研究了逆向选择问题以及不同能力的工人参加测试的意愿程度。

- 米尔利斯（Mirrlees，1974）的文章表明当产出可以无成本地观测到时，通过仅对很低的产出进行惩罚，强制性合同可以取得效率。纳尔巴夫和沙尔夫斯泰因（Nalebuff & Scharfstein，1987）对测试问题进行了研究，从而推广了米尔利斯的结论。在纳尔巴夫和沙尔夫斯泰因的模型中，测试是有成本的并且代理人为风险规避的。在他们得到的均衡中，雇主以小概率测试工人，使用高质量测试并实施严厉惩罚，这时结果将几乎会达到最优（first-best）。在对每次测试进行高额支出可以消除错误判断的假定下，他们证明了：委托人会以小概率测试工人，只要进行测试就会使用高支出的精确测试，并对欺骗行为从重处罚。

习 题

9.1 使用方程与图形的保险问题（容易）

正文使用图形分析了保险博弈Ⅲ。我们这里使用方程，令$U(t)=\log(t)$。

(a) 对图 9—6 中的充分信息分离合同 C_3 与 C_4，请给出数值（x，y）。C_3 与 C_4 的坐标为多少？

(b) 为什么我们不必使用函数 $U(t)=\log(t)$ 就可以找到数值？

(c) 在不完全信息下的分离合同 C_5 中，$x=2.01$，此时 y 为多少？证实 x 可以为 2.01。C_5 的坐标为多少？

(d) 请给出有利可图并能将两种类型均引诱偏离 C_3 与 C_5 的合同 C_6？

9.2 测试与承诺（中等难度）

β 比例的工人为有天赋的，其产出为 $a_t=5$；$(1-\beta)$ 比例的工人为不具天赋的，其产出为 $a_u=0$。两种类型的工人的保留工资均为 1 单位，并且都为风险中性的。雇主 Apex 可以对工作申请者进行测试并以概率 θ（其数值高于 0.5）发现他的真实能力，这样做对雇主与申请者的成本分别为 2 与 1。工作仅进行一期。令 $\beta=0.001$。假定在工人参加测试前 Apex 可以可信地承诺一个工资安排，同时为避免工人之间的不满情绪以及人事部门中的腐化，Apex 必须测试所有工人并对雇用的所有工人支付相同的工资。

(a) 诱使有天赋的工人进行申请的最低工资 w_t 为多少？诱使不具天赋的工人进行申请的最低工资 w_u 为多少？哪个数值更大？

(b) 诱使 Apex 使用测试的最低精度值 θ 为多少？企业对申请者的预期人均利润为多少？

(c) 现在假定 Apex 可以对通过测试的工人支付 w_p，而对未通过者支付 w_f。w_p 与 w_f 各为多少？诱使 Apex 使用测试的最低精度值 θ 为多少？企业对申请者的预期人均利润为多少？

273 (d) 当 Apex 不能保证支付广告中宣称的工资，并且能够独立决定每个申请者的工资时，结果将会如何变化？

(e) 如果 Apex 不能保证测试每个申请者，此时为什么不存在如下均衡——在其中或者是不具天赋的工人不申请，或者是企业测试每个申请者？

9.3 在测试博弈中找出混合策略均衡（中等难度）

一半高中毕业生为有天赋的，并且生产产出 $a=x$；另一半为不具天赋的，并且生产产出 $a=0$。两种类型的毕业生的保留工资均为 1 单位，并且为风险中性的。雇主能够对毕业生进行测试并发现他的真实能力，这样做对雇主与申请者的成本分别为 2 与 1。雇主在提供工资时互相竞争，但在显示测试结果时进行合作，所以雇主知道一个申请者是否已被测试以及是否通过了测试。工作只进行一期。雇主不能保证测试每个申请者或任何固定比例的毕

业生。

(a) 为什么不存在如下均衡——在其中或者是不具天赋的工人不申请，或者雇主测试每个申请者？

(b) 在均衡中，雇主以概率 γ 测试工人并付给通过的工人工资 w，有天赋的工人全部参加测试，不具天赋的工人以概率 α 参加测试。其中可能 $\gamma=1$ 或者 $\alpha=1$。找到均衡值 α 关于 w 的表达式。即使雇主主要关注的是一些工人有 x 的生产优势，解释在这个表达式中为什么 α 不是 x 的直接函数。

(c) 如果 $x=9$，α，γ 与 w 的均衡值各为多少？

(d) 如果 $x=8$，α，γ 与 w 的均衡值各为多少？

9.4 两次失败者（容易）

一些人确实是有原则的，因此即使在不存在惩罚的情况下也不会进行抢劫。另一些人为屡教不改的罪犯，因此无论惩罚多严重都会进行两次抢劫。社会希望对罪犯实施一定程度的惩罚来作为报复。报复要求对每次犯罪实施15单位的预期惩罚（如果可以完全确定地侦破案件实施15，如果以概率0.1侦破则实施150，依此类推）。如表9—2所示，无罪的人有时会被错误定罪。

表9—2 **两次失败者**

抢劫	定罪		
	0	1	2
0	0.81	0.18	0.01
1	0.6	0.34	0.06
2	0.49	0.42	0.09

两种惩罚方法被提出：(1) 对每次定罪实施惩罚 X；(2) 对第一次定罪实施惩罚0，对第二次定罪实施惩罚 P。

(a) 为取得合意的报复数量，X 与 P 必须为多少？

(b) 哪种方法对无罪的人实施了较小的成本？在每种情况下成本为多少？

(c) 与问题8.2比较，两者有何不同？

9.5 保险与状态空间图（中等难度）

两种类型的风险规避者（洁身自好者与放纵者）想要购买健康保险。洁身自好者以概率0.3患病，而放纵者的概率为0.9。在相应的状态空间图中，我们以纵轴表示当他健康时的财富，以横轴表示当他患病时的财富。由于他 274

的初始财富为 10 并且医疗成本为 5，每个人的初始禀赋为（5，10）。

（a）每种类型个人的预期财富为多少？

（b）现在已知一个风险中性的保险公司对每种类型的个人分别进行保险，画出标有保险公司无差异曲线的状态空间图。在个人类型是可合同化的假定下，画出放纵者与洁身自好者在保险后的分配 C_1 与 C_2。

（c）画出标有初始禀赋的新的状态空间图，在上面画出通过该点的两种类型个人的无差异曲线。

（d）在非对称信息下，为什么不存在能构成纳什均衡一部分的混同合同 C_3？

（e）如果保险公司为垄断者，混同合同能成为纳什均衡的组成部分吗？

股票销售中的逆向选择：第 9 章的课堂博弈

275 这是一个为金融市场建模的博弈，在金融市场上股票的卖方比买方更知道股票的价值，但是从一项给定的资产中买方会比卖方获得更多的效用。

有两种类型的人：买方和卖方。每个购买者开始都有一个 200 美元的支票账户。每个卖方开始都有 4 只 4 家不同公司的股票。在等比下股票的面值分别是 90、70、30 和 10 美元。

因为人们希望储蓄，购买者对股票的评价要高于现金。每个购买者具有下面的支付函数，其中支付是以效用度量的。

$$\pi(\text{买方}) = \text{现金} + 1.5 \times \text{股票价值} \qquad (9.31)$$

购买者的原始支付是从他的 200 美元现金换来的 200 的效用，如果购买者将他的 200 美元现金转换为 200 美元的股票，那么它可能升为 300 的效用。

因为卖方希望当前消费，所以卖方对现金的评价比股票高。每一个卖方都有如下支付函数：

$$\pi(\text{卖方}) = 1.5 \times \text{现金} + \text{股票价值} \qquad (9.32)$$

在该博弈中，买方和卖方买卖股票。买方使用记名支票支付。如果买方史密斯从琼斯那里购买了 40 美元的股票，他会在板上写上“史密斯”并在名字下面写“支付给琼斯 40 美元”。如果史密斯接着从李那里购买 90 美元的股票，他会在下面接着写“支付给李 90 美元”。

该博弈在不同的特征情况下重复。每一次卖方开始都是有 4 只股票而买

方有200美元。参与人不保留前一轮中的收益。（考虑1993年上映的电影《土拨鼠日》（*Groundhog Day*），http://www.imdb.com/title/tt0107048。）

1. 对称信息：指导人在黑板上写上每家公司的价值。

2. 非对称信息——分散：指导人告诉卖方而不告诉买方每家公司的价值。

3. 第二轮同第一轮相同，但是开始时的股票不同。

4. 非对称信息——集中：不完全调整：如果卖方的股票低于50美元，那么他必须揭露。指导人告诉卖方而不告诉买方每家公司的价值。

5. 非对称信息——集中：真实调整：卖方可以保证他的股票的价值。指导人告诉卖方而不告诉买方每家公司的价值。

第 10 章
机制设计和签约后隐藏知识

10.1 机制、披露、十字交叉检验法和显示原理

276 本章考虑机制设计。机制是一个规则集合，规则是为了把信息从第二个参与人传递到第一个参与人，由一个参与人构建而另一个可以无成本地接受。机制包含第二个参与人的信息报告和从每个可能的报告到第一个人参与人某些行动的映射。

逆向选择模型可以被看做机制设计问题。保险博弈Ⅲ是关于保险公司想知道一个消费者是否为安全的问题。在均衡中它提供了两份合约：受安全类型的消费者偏爱的昂贵的全保险合约和受不安全类型的消费者偏爱的便宜的部分保险合约。用机制设计的语言来说，保险公司提出一项博弈，在博弈中消费者报告自己的类型是安全的还是不安全的，不管他偏好报告哪一个，作为结果，保险公司指派给他部分保险或者全保险。合约就是让代理真实报告他们类型的一种机制。

机制设计不仅仅是简单的逆向选择问题。即使当参与人在开始博弈时有对称信息或者两个参与人愿意交换他们的隐藏信息时，机制设计也是有用的。

10.1 节使用生产博弈Ⅷ介绍了隐藏知识的道德风险，它说明了怎样构建一个最优机制，当参与人可以观测到信息而法庭不能观察到时十字交叉检验法是如何得到最优合同的，以及如果说谎可以观测到而沉默不可以时披露是如何揭露私人信息的。10.2 节为由罗杰·迈尔森发明的生产质量博弈设计的一个机制。10.3 节使用图表把模型运用到销售配额问题。10.4 节介绍一种机

制，即当问题不是从一个代理人而是 N 个代理人（这些代理人需要决定是否在公共产品上投资）那里引诱真实报告时，而会使用的有多个参与人和“占优策略”的格罗夫斯机制。10.5 节将机制设计原理应用到价格歧视。10.6 节给出了一个更复杂的模型，由政府实施的收益率规制设计了一种机制来引诱受监管的公司揭示自己减少成本的容易程度。

签约后隐藏知识

在道德风险博弈中信息是完全的，但是在**隐藏知识的道德风险**（moral 277 hazard with hidden knowledge），也称为**签约后逆向选择**（postcontractual adverse selection）中，代理人（而不是委托人）在博弈开始后，在行动之前观测到自然的行动。在签约时信息是对称的——因此是道德风险，但随后变为不对称的——因此是隐藏知识。从委托人的角度看，各个代理人在博弈开始时是相同的，但随后他们拥有了私人类型。委托人主要关心的是如何使代理人后来有揭示自己类型的积极性，这使得隐藏知识博弈在某种程度上类似逆向选择的问题。尽管代理人或许会实施努力，但由于此时委托人并不知道自然选择的世界状态（因而不了解什么是恰当的努力水平），所以努力是否可合同化的问题将变得不重要。在对隐藏知识的道德风险以及逆向选择进行技术分析时，主要的不同在于：如果博弈开始时信息为对称的，但在达成协议后变得不对称，参与约束是基于代理人的期望支付，即他可能成为不同类型的代理人间的期望支付。因此即使在模型中有 n 种不同类型的代理人，也仅仅只有一个参与约束，而不是像在标准逆向选择模型中要求的 n 个参与约束。

使得签约后隐藏知识成为机制设计范例的理想框架是该问题提出了一个合同，该合同（1）诱导代理人向委托人报告事实，和（2）可以被代理人和委托人接受。这比逆向选择更有可能得到有效结果。其优势是在签订合同时信息是对称的，因而参与双方不能通过利用私人信息选择无效的合同条款来获取剩余。

为了比较两种类型的道德风险，我们修改第 9 章中的生产博弈Ⅶ并使其变成与隐藏知识稍稍不同的博弈。

生产博弈Ⅷ：机制设计

参与人

委托人与代理人。

博弈顺序

（1）委托人提供给代理人形式为 $w(q, m)$ 的工资合同。其中 q 是产

出，m 是代理人发出的消息。

（2）代理人接受或拒绝该合同。

（3）自然根据概率分布 $F(s)$ 选择世界状态 s，其中好状态和坏状态的概率均为 0.5，代理人观测到 s，但委托人观测不到。

（4）如果代理人接受合同，他实施努力 e（委托人观测不到），并向委托人发送消息 $m\in\{好，坏\}$。

（5）产出为 $q(e, s)$，其中 $q(e, 好)=3e$，$q(e, 坏)=e$，并且工资必须支付。

支付

如果代理人拒绝合同，则 $\pi_{代理人}=\overline{U}=0$，$\pi_{委托人}=0$。

如果代理人接受合同，则 $\pi_{代理人}=U(e, w, s)=w-e^2$，$\pi_{委托人}=V(q-w)=q-w$。

278 这个博弈与生产博弈Ⅶ几乎相同。最大的不同是，在代理人必须要接受或者拒绝合同的那一刻他不知道自己的类型。一个小一些的不同是，我们增加了代理人发送给委托人的消息 m。消息是廉价交谈——它不直接影响支付并且对于说谎没有惩罚。简要说明代理人选择的产出—工资组合对于建模的便利性是有帮助的。

委托人希望知道 s，这样他就可以说出哪种努力水平是合适的。在一个理想的世界中，他会雇用一个诚实的代理人——这个代理人总是选择 $m=s$，但是在一个非合作博弈中，我们通常假设代理人没有道德意识。既然代理人的消息是没有价值的，委托人必须尝试设计一个合同，它可以或者是为说真话提供激励或者是重视说谎话。他**执行**（implements）一个**机制**（mechanism）来抽取代理人的信息。

在生产博弈Ⅶ中（该博弈的逆向选择版本），最优合同满足两个参与约束和两个激励相容约束。

在生产博弈Ⅷ中（隐藏知识的道德风险版本），最优合同满足一个参与约束和两个激励相容约束。

最优合同与生产博弈Ⅶ相比没有变化。在好的世界状态下，最优努力和产出是 $e_g=1.5$ 和 $q_g=4.5$，在坏的状态下，它们是 $e_b=0.5$ 和 $q_b=0.5$。没有变化的还有委托人必须解决下面的问题：

$$\underset{q_g, q_b, w_g, w_b}{\text{Maximize}}[0.5(q_g-w_g)+0.5(q_b-w_b)] \quad (10.1)$$

其中，代理人在两个强制性合同中的任意一个下必须进行支付。这两个合同

是，如果代理人报告 $m=$ 好，则有 (q_g, w_g)；如果他报告 $m=$ 坏，则有 (q_b, w_b)，但如果在给定的合同下他报告错误的结果将会导致"炸油锅"。

合同必须导出参与约束和自选择约束。我们能够根据代理人的支付函数从实际上选择的两个 (q, w) 合同中的一个写出这些约束，他的合同是根据他的好坏状态的报告来选择的。同生产博弈Ⅶ一样，在这些合同下他选择的努力在好的状态下将是 $e=q/3$，在坏的状态下是 $e=q$。

自选择约束也与生产博弈Ⅶ相同。在好的状态下，代理人一定选择好状态合同，所以

$$\pi_{代理人}(q_g, w_g \mid 好) = w_g - \left(\frac{q_g}{3}\right)^2 \geq \pi_{代理人}(q_b, w_b \mid 好)$$
$$= w_b - \left(\frac{q_b}{3}\right)^2 \tag{10.2}$$

在坏的状态下，他一定选择坏状态合同，所以

$$\pi_{代理人}(q_b, w_b \mid 坏) = w_b - q_b^2 \geq \pi_{代理人}(q_g, w_g \mid 坏) = w_g - q_g^2 \tag{10.3}$$

因为在签订合同时代理人不知道世界的状态是什么，所以生产博弈Ⅶ的参与约束现在合并了。因此，单一参与约束是

$$0.5\pi_{代理人}(q_g, w_g \mid 好) + 0.5\pi_{代理人}(q_b, w_b \mid 坏)$$
$$= 0.5\left(w_g - \left(\frac{q_g}{3}\right)^2\right) + 0.5(w_b - q_b^2) \geq 0 \tag{10.4}$$

因为委托人想尽可能少地支付给代理人，所以这个单一参与约束是紧的。 279
好状态的自选择约束将是紧的。在好状态下代理人将尝试采取与适合坏状态的合同相比更容易的合同（由于将在下一节中讨论的单交点特征），所以委托人不得不增加好状态合同中的代理人的支付来使其与坏状态下的收益至少同样多，这样好状态下的自选择约束将正好得到满足。这给出了两个方程：

$$0.5\left(w_g - \left(\frac{q_g}{3}\right)^2\right) + 0.5(w_b - q_b^2) = 0 \tag{10.5}$$

$$w_g - \left(\frac{q_g}{3}\right)^2 = w_b - \left(\frac{q_b}{3}\right)^2$$

求解，得到 $w_b = (5/9)q_b^2$ 和 $w_g = (1/9)q_g^2 + (4/9)q_b^2$。

回到（10.1）式中的委托人最大化问题并替换 w_b 和 w_g，我们可以把这个问题重新写为无约束的：

$$\underset{q_g,q_b}{\text{Maximize}}\ \pi_{委托人} = \left[0.5\left(q_g - \frac{q_g^2}{9} - \frac{4q_b^2}{9}\right) + 0.5\left(q_b - \frac{5q_b^2}{9}\right)\right] \qquad (10.6)$$

一阶条件是

$$\frac{\partial \pi_{委托人}}{\partial q_g} = 0.5\left(1 - \left[\frac{2}{9}\right] q_g\right) = 0 \qquad (10.7)$$

所以 $q_g = 4.5$，和

$$\frac{\partial \pi_{委托人}}{\partial q_b} = 0.5\left(-\frac{8}{9} q_b\right) + 0.5\left(1 - \frac{10}{9} q_b\right) = 0 \qquad (10.8)$$

所以 $q_b = 9/18 = 0.5$。接着我们可以找到满足约束的工资，$w_g \approx 2.36$ 和 $w_b \approx 0.14$。

同生产博弈Ⅶ中一样，在好状态下努力处在最优水平，但在坏状态下努力会比最优水平小一些。同生产博弈Ⅶ不同，因为在签订合同时代理人没有私人信息，所以他不会赚取信息租金。在生产博弈Ⅶ中工资是 $w_g \approx 2.32$ 和 $w_b \approx 0.07$。在生产博弈Ⅷ中两个工资都比较高，所以在坏状态下代理人的努力和产出需求也比较高。在生产博弈Ⅷ中委托人的限制较少，这样就可以（1）在坏状态下更接近最优合同，和（2）减少对代理人的租金。这些是隐藏知识的道德风险的一般特征。

可观测到但不可证实的信息和马斯金匹配计划

如果状态或者类型是公共信息，那么使用强制合同可以直接得到最优合同。如果状态可以被委托人和代理人共同观测到，但又不是公共信息，将会怎样？

280 该问题是在这种缔约情形下存在三个相关的参与人：提供合同的委托人、接受合同的代理人和强制执行合同的法庭。如果法庭不能观测到状态，以某种状态的工资为条件的合同就是不能强制执行的，几乎等于完全没有合同。如果基于变量 s 的合同是不能强制执行的，我们就说变量 s 是**不可证实的**(nonverifiable)。更简单地，法庭对这个变量进行度量的准确度不能达到实用的要求——例如用工人的劳动强度替代工人在工作中的劳动时间。或者，法庭可以观测到这个变量但是由于某些原因它不能在一个法律合同中使用——例如犯罪前科中可卡因的数量。

然而，看上去似乎是即使法庭不能强制执行基于一个变量的合同，但如果委托人和代理人都能观测到它，那么他们就能达成一个比只有代理人可以观测到这个变量时达成的合同更有效的合同。并且实际上，共同的观测是有

帮助的。马斯金（Maskin，1977）建议使用**十字交叉检验法**（cross checking），可以对生产博弈Ⅷ采取下列两步形式：

（1）委托人和代理人同时向法庭发送信息 m_p 和 m_a 说状态是好的还是坏的。如果 $m_p \neq m_a$，那么没有合同达成且两个参与人都获得 0 支付。如果 $m_p = m_a$，那么法庭强制执行计划的第（2）部分。

（2）代理人依赖于他的报告 m_a 被支付的工资（$w|q$）是好状态下的强制合同（$2.25|4.5$）和坏状态下的（$0.25|0.5$），或者如果他的产出与他报告的不适合，那么他就会被“炸油锅”。

这里存在一个均衡，在均衡中因为偏移将会导致零支付，所以两个参与人都愿意发送真实信息。任何时候代理人获得的支付总是零（在强制合同中的数量使得他的参与约束是紧的），但这是由于一个开集问题和我们的委托人拥有所有讨价还价能力的假设。委托人的支付是正值并且努力是最优水平。

然而，通常这种计划有多重均衡，在反常的均衡中，两个参与人发送相互匹配的错误信息和无效的行动结果。这里，在一个反常的均衡中委托人和代理人总是发送 $m_p = m_a =$ 坏这样的消息。即使在状态实际是好的时候，他们的支付是 $\pi_{委托人}(好) = 0.5 - 0.25 > 0$ 和 $\pi_{代理人}(好) = 0.25 - (0.5)^2 = 0$，所以没有任何一个参与人有激励来单方面偏移均衡并使支付为零。[1]

或许比多重均衡更大的问题是参与人没有能力承诺机制所带来的重新谈判问题。假设均衡表示两个参与人将发送真实消息，但是代理人偏离均衡并且即使是在好状态下也报告 $m_a =$ 坏。法庭就会说合同是无效的。我告诉你支付是零就会出现这种情况，但是法庭的决定实际上也不是故事的结束。代理人将会与委托人重新谈判一个新合同，委托人愿意做一些事情而不是放弃从交易中获得收益。在十字交叉检验中偏离均衡的惩罚对于两个参与人都是有成本的，所以他们同意绕过这个计划而不是受到惩罚。

在这种情况下，十字交叉检验很像霍姆斯特龙团队合同，在霍姆斯特龙 281
团队合同中如果产出很小的话，产出就会被破坏掉而不是在团队成员间分配。这样，在结果中会存在第三方，他会在产出很小的情况下接受产出，所以这样就会拒绝重新谈判。这种类比运用到这里是签订一份合同，合同规定如果他们的报告不匹配，那么委托人和代理人的支付将给第三方。这听起来有可能，但实际中几乎观测不到这种情况。

或者我们也要这样？尼古拉斯·皮尔吉（Nicholas Pileggi）在他的书《提防老千》（*Wise Guys*，p. 57）中引述低水平歹徒亨利·希尔所说的，罪犯们需要黑帮成员的保护，因为当他们对于非法活动产生争执的时候他们不能寻求警察的帮助：“例如，我得到了 5 万美元的抢劫物资，并且我在运送时不

是正常付款，我被敲竹杠了。我该怎么办？找警察？不可能。与他交火？我是个抢劫犯，不是牛仔。不。为了保证我不被任何其他人撕掉的唯一方法是与一个人合伙，像鲍利。那些成功的重要人物。犯罪家族的一个成员。一个军人。接着……这就是这个游戏的结局。再见。他们都死了……当然，当敲你竹杠的成员与黑帮成员有联系的时候，问题就出现了。接着你这边的黑帮成员与他们的黑帮成员就会坐下来谈判。接下来通常发生的是黑帮成员瓜分你被偷的东西到他们的口袋，而把你和抢劫你的人空手打发回家。并且如果你抱怨，那你就死定了。”低水平的歹徒有很强的激励来报告相同的事情，或者大人物拿走有争议的财物。这听起来对父母也很熟悉——“如果我们解决不了这个，这个玩具就会在壁橱里面放整整一个星期。”这或许甚至是所罗门的智慧——参见 Glazer & Ma（1989）或 Baliga（2002）（里面有关于机制设计的很好的讲解，它使用作者自己的工作来例证）。

披露：禁止说谎时的信息公布

有另外一个特殊的例子，在这个例子中隐藏信息被强制公开：当代理人被禁止说谎和只能在说真话和保持沉默之间选择时。

在生产博弈Ⅷ中，这种结构会给代理人两种可能的消息集合。如果状态是好的，代理人的消息将会从 $m\in$｛好，沉默｝中攫取；如果状态是坏的，代理人的消息会从 $m\in$｛坏，沉默｝中攫取。

如果真实状态是坏的话（这意味着低产出是允许的），代理人没有理由保持沉默，所以那时他的消息是坏。但是在那时如果委托人听到的消息是沉默，那他知道状态一定是好的——只有在状态是好的时候，好和沉默才都有可能发生。所以，沉默的选择权对于代理人来讲是毫无意义的。

这可以推而广之。假设自然使用均匀分布来指派变量 s 为区间［0，10］中的某些值和代理人的支付关于委托人对 s 的估计是递增的。通常我们假设代理人可以无成本地说谎，发送消息 m，m 是区间［0，10］中的任何值，但是我们用代理人不能说谎但是他可以隐藏信息来替代上述假设。因此如果 $s=2$，他能够发送无价值的消息 $m\geqslant 0$（等于没有消息），也可以是 $m\geqslant 1$ 或 $m=2$，但不能是谎话 $m\geqslant 4.36$。

当 $s=2$ 时，代理人或许会发送代表真相的消息：“$m=2$”。不太严格地说，如果他选择消息“$m\geqslant 1$”，委托人的第一想法或许是估计 s 为区间［1，10］的平均值，即 5.5。但委托人随即会意识到：如果 5.5 是一个合理的推
282 导，没有一个 $s>5.5$ 的代理人想发送消息“$m\geqslant 1$”。这种想法将可能的区间缩小为［1，5.5］，此区间的平均值为 3.25。但随即没有一个 $s>3.25$ 的代理

人会发送消息"$m\geqslant 1$"。委托人能够反复使用该逻辑披露过程，最后得到结论 $s=1$。消息"$m\geqslant 0$"的情况将会更糟糕，因为它使得委托人相信 $s=0$。在该模型中，"没有消息是坏消息"。因此代理人将不会发送消息"$m\geqslant 1$"，且他在发送消息"$m=2$"和"$m\geqslant 2$"之间是无差异的，因为这时委托人可以从二者中的任何一个得到相同的推论。

更准确的或许是更简单的方法是，使用纳什均衡方法寻找利润偏离。均衡或者是全分离的，或者是部分混同的。如果它是全分离的，代理人的类型会暴露出来，他可能倒不如发送 $m=s$。如果均衡是部分混同的，存在某些类型 $s_{最好}$，它是发送给定信号 $\tilde{m}$ 的混同中最好的。在混同中委托人基于观测 $\tilde{m}$ 对 s 的估计是均值，这比 $s_{最好}$ 要小。类型 $s_{最好}$ 的代理人会偏离到 $m=s_{最好}$ 并揭示自己的类型。因此，有人会从任何部分混同均衡中偏离。唯一的均衡一定是全分离均衡。

完美披露是自相矛盾的，但那是因为支持前面段落中论证的假定在现实中很少成立。特别是，不可惩罚的说谎行为以及对真相的真正无知使得信息得以隐藏。如果卖方可以随意说谎而不受惩罚，那么，在不存在其他激励的情况下，他总是会假装他的信息极端可信，因此他说的任何话都不能传递任何信息（无论是好的还是不好的）。如果在某些世界状态下他确实不知道真相，则他的沉默可以表示他无话可说，也可以表示他没有有帮助的事情要报告。如果卖方发送了一些无信息的消息，买方会以某种概率认为这代表"没有消息"而不是"无用的消息"，披露论据就会无效。本章章末的习题 10.1 进一步探讨了披露的问题。关于这个观点的仔细讨论，参见 Milgrom（1981b）。

显示原理

既然委托人在设计合同时可以将说谎考虑在内，他可以提供一个诱使代理人在均衡时说谎的合同，但这会使分析复杂化。每个世界状态仅有一个真相，但却有一连串的谎言。一般来说，几乎所有事情都是虚假的。下面这个原理有助于我们简化合同设计。回想一下 w 是工资，q 是产出，m 是消息，s 是代理人类型。

显示原理（the revelation principle）：*对每个会导致说谎（即 $m\neq s$）的合同 $w(q, m)$，存在一个合同 $w^*(q, m)$，使得对每个 s 而言，二者得到相同的支付，并且代理人没有说谎的激励。*

在许多可能的合同中，发送虚假的消息对代理人是有利可图的。其中的原因是：当世界状态为 a 时，如果他报告真相将得到 x_1 的奖励，但如果报告虚假信息 b，则得到 $x_2(x_2>x_1)$。如果无论代理人报告 a 还是 b，根据合同他

都将得到相同的报酬 x_2，那么，既然在该合同下每个参与人获得几乎相同的支付，他将没有激励去说谎。显示原理指出，通过模拟世界状态与存在说谎的均衡合同所获得的支付之间的关系，我们总可以找到一个像这样的说真话的合同。在机制设计问题中存在两种简化水平。首先，如果有 n 种可能类型
283 的代理人，我们能够把代理人的消息限制在只有 n 个值（或者，类似地，如果这种类型是在区间 $[a, b]$ 上的值 t，我们可以将消息限制在这个区间上）。如果我们这样做，它就被称为**直接机制**（direct mechanism）；如果我们允许比类型个数更多的消息，它就是**间接机制**（indirect mechanism）。其次，我们要求把机制限制在要从代理人那里获取真实消息。显示原理说这个要求不会改变一个机制可能完成的支付。

在生产博弈Ⅷ中，因为只存在两种可能状态且均衡是完美分离的——代理人在不同状态下有不同的奖励，所以显示原理不是很起作用。委托人有损失的地方是当均衡包含部分混同时。假设我们尝试设计一个机制来让高收入的人支付高税款，但是每年赚 70 000 美元的人可以声称他自己的收入为 50 000 美元，而且我们并没有办法去发现真相，或其他变量以杠杆作用来运用并以全分离均衡而告终。我们需要设计一个机制，在这个机制中报告收入的高收入者支付高税额，但是 50 000 美元的报告来自真实收入是 50 000 美元和收入为 70 000 美元的人。根据显示原理，我们可以修订税法使得年收入 70 000 美元与 50 000 美元的纳税人交纳相同数量的税收，从而我们可以在没有任何人有激励说谎的前提下征收相同数量的税收。如果我们关注收入税的欺骗的道德风气的影响，这样做会更好。类似地，应用在孩子的教育上，该原理指出，如果女儿告诉母亲她所有的逃学行为，母亲承诺永不惩罚她的女儿，这样的母亲听到的都是事实。这是制止说谎的很好的方法，但不是制止其他不礼貌行为的有效方法。

很明显，该原理的有用性在于简化合同而不是改进结果。委托人（以及建模者）仅需要考虑导致说真话的合同，而不是代理人知道说谎在继续发生但是相应调整奖励的更复杂的计划。所以相关的策略空间将大为缩小，因此除了激励相容约束与参与约束外，我们可以增加第三个约束，以帮助计算均衡：

讲真话（truth-telling）。均衡合同使代理人愿意选择 $m = s$。

显示原理告诉我们讲真话的均衡存在，但却没有说它是唯一的。很可能发生的情况是均衡为弱纳什均衡，在其中最优合同使代理人没有激励去说谎，但同时也没有激励去讲真话。这类似于 4.3 节中讨论的开集问题。最优合同或许满足代理人的参与约束，但却使他在接受与拒绝合同之间无差异。如果代理人从讲真话中得到稍高的效用，则讲真话变为强均衡。如果他们从讲真

话中得到的效用确实是显著的，这个事实应在模型中清楚地说明。事实上，如果讲真话的效用足够强，则代理问题以及与之相联系的成本将会消失。这是道德有利于商业活动的一个原因。

显示原理严重依赖于我们所作的一个隐含假设：委托人不能违背他的合同。例如，在税收设计的例子中，如果在代理人报告他们的收入后政府可以自由修改税收计划，对 50 000 美元或 70 000 美元的收入的代理人征收相同的税收的直接机制就会垮掉，因为富有的代理人知道，如果他们真实地报告 70 000 美元的收入，政府根据过去的经济形势分析可能改变税收计划，使他们支付更多。相应地，政府不得不使用间接机制，在这一机制中税收总是对高收入征收高税收，并且那些 70 000 美元收入的人会不真实地报告为 50 000 美元。因此，贯穿本章，我们将假设委托人会承诺他的机制——可以承诺不会使用他收到的来自代理人的所有信息。 284

克劳福德和索贝尔的发送者—接收者博弈：原始信息传送

即使知情的参与人和不知情的参与人有不同的激励，如果他们的激励非常相近，可以说谎但不能承诺一项机制，如果非完美消息可以在均衡中发送，这会是真实的——不同于激励是整体发散的披露博弈。我们称知情的参与人为“发送者”，不知情的参与人为“接收者”。而不是称两个参与人为委托人和代理人，在这类模型中这很正常。设发送者的类型 t 在 $[0, 10]$ 上均匀分布。发送者发送消息 m，相应地，接收者采取行动 a，其中 a 和 m 都在 $[0, 10]$ 内。在支付函数相似性的极限值处，很清楚发生了什么。假设发送者希望 a 尽可能地接近 t。如果发送者也希望 a 接近 t，他将会说真话：$m=t$。如果他希望 a 尽可能地大而不考虑 t，换句话说，因为他的理想行动是 $a=10$，那么他将会说谎而接收者会忽视任何消息。

如果发送者的理想行动是 $(t+1)$，所以他不希望 a 太大，但是他希望比全知情接收者将要选择的大，此时会发生什么？克劳福德和索贝尔（Crawford & Sobel，1982）在题为《策略信息传递》（“Strategic Information Transmission”）的著名论文中揭示了这个原因。我们将要讨论在下面的博弈中将会发生什么，这个博弈由我改编自 Gibbons（1992，Section 4. 3. A），如果你想学到更多的知识，这是一本很好的教材。

克劳福德和索贝尔的发送者—接收者博弈

参与人

发送者和接收者。

博弈顺序

(0) 自然选择发送者的类型 $t\sim U[0, 10]$。

(1) 发送者选择消息 $m\in[0, 10]$。

(2) 接收者选择行动 $a\in[0, 10]$。

支付

支付是二次损失函数，在这个函数中每个参与人有一个理想点且都希望 a 尽可能地靠近理想点。

$$\pi_{发送者} = a-(a-[t+1])^2$$
$$\pi_{接收者} = a-(a-t)^2 \qquad (10.9)$$

285 首先让我们看一下在均衡中为什么完美的说真话不可能发生。假设接收者相信发送者总是发送 $m=t$ 并因此选择 $a=m$。那么发送者确实愿意告诉真相吗?

他不会的。发送者不会总是报告 $m=10$，因为他的理想点是 $a=m+1$，而不是 a 尽可能地大。然而，如果发送者认为接收者会相信他，他将偏离而报告 $m=t+1$，总是轻微夸大他的类型。

如果接收者适应了这个，并选择 $a=m-1$，会发生什么？此时发送者也会作出改变，并发送 $m=t+2$，夸大得更多。远离真实的这种披露（与当直接的谎言被禁止时揭露事实的披露恰好相反）直到发送者报告的消息是 $m=10$ 时才会停止，而不管发送者的类型且接收者会忽视这个消息。这种说明是启发式的，且不能证明不存在全分离的纳什均衡，在这个均衡中每种类型的发送者会报告不同的消息，但是克劳福德和索贝尔（Crawford & Sobel，1982）证明情况就是这样。

因此，一个均衡是混同均衡，在这个均衡中发送者的消息是不被理睬的，接收者会选择 $a=Et=5$。均衡可以采取下列两种形式中的任意一种。

混同均衡 1

发送者：不考虑 t 发送 $m=10$。

接收者：不考虑 m 选择 $a=5$。

非均衡信念：如果发送者发送 $m<10$，接收者使用消极的推测并仍然相信 $t\sim U[0, 10]$。

混同均衡 2

发送者：使用与 t 不相关的混合策略分布发送 m，其分布是在 [0，10]

上处处有正的密度的分布。

接收者：不考虑 m 选择 $a=5$。

非均衡信念：既然在均衡中任何消息都可以观测到，它就没有必要了。

在这两个均衡的任何一个中，发送者的行动并没有传递任何信息而接收者不会理睬它。如果 $t=4$ 出现，发送者会很高兴；如果 $t=5$（所有可能值 t 的平均值），接收者会很高兴，他们的支付都会比发送者承诺说真话时更低。然而，也存在一个部分混同均衡。在这个均衡中发送者真实地报告他的类型与 $x=3$ 相比是在低区间 $[0, x]$，还是在高区间 $[x, 10]$。

部分混同均衡 3

发送者：如果 $t\in[0, 3]$ 发送 $m=0$，或如果 $t\in[3, 10]$ 发送 $m=10$。

接收者：如果 $m<3$ 选择 $a=1.5$，如果 $m\geqslant 3$ 选择 $a=6.5$。

非均衡信念：如果 m 是 0 和 10 以外的其他数，那么如果 $m\in[0, 3)$，则 $t\sim U[0, 3]$；如果 $a\in[3, 10]$，则 $t\sim U[3, 10]$。

实际上，在均衡 3 中，发送者已经将他的消息空间简化为两条消息：低（=0）和高（=10）。与其仅仅检验这是一个均衡，我们还不如推导这个均衡来说明为什么均衡区间分离类型是 $x=3$。

首先，在一个部分混同均衡中，接收者的最优策略是选择他的行动等于发送者可能选择的区间中的类型的期望值。因此如果 $m=0$，接收者会选择 $a=x/2$；如果 $m=10$，他会选择 $a=(x+10)/2$。 286

接收者的均衡反应决定了发送者从他的两条消息中得到的支付。在他不同选择间的支付是

$$\pi_{发送者, m=0}=\alpha-\left[(t+1)-\frac{x}{2}\right]^2$$

$$\pi_{发送者, m=10}=\alpha-\left[\frac{10+x}{2}-(t+1)\right]^2 \tag{10.10}$$

存在值 x 使得如果 $t=x$，发送者在 $m=0$ 和 $m=10$ 之间是无差异的，但是如果 t 更低，他倾向于 $m=0$；如果 t 更高，他倾向于 $m=10$。为了得到 x，使表达式（10.10）中的两个支付相等并化简，得到

$$(t+1)-\frac{x}{2}=\frac{10+x}{2}-(t+1) \tag{10.11}$$

我们设在无差异点有 $t=x$，求解 x，得到 $x=3$。

因此，实际上，在发送者和接收者之间的倾向分歧使得消息空间变得粗

糙。发送者不会发送真实、准确的消息，但是如果期望是正确的（所以我们得到部分混同均衡），他将会发送真实、粗糙的消息。如果 t 的真实值很小，发送者将会报告真实、准确的信息即 t 在［0，3］内。如果 t 更大，既然发送者具有夸大的趋势并报告比其本身更大的 t 值，诱导真实报告是很困难的，但消息可以排除区间［0，3)。

如果并不希望（$t+1$）成为行动，在发送者和接收者倾向之间有更大的分歧——比如说（$t+8$），那么就只会有无效的混同均衡。如果他们的分歧变小——比如说（$t+0.1$），就会存在另一个部分混同均衡，在这个均衡中有不止两条有效消息并且会用三个或更多的区间区分开，而不再仅仅是两个区间。

在发送者—接收者博弈中，接收者不会承诺他对消息的反应方式，所以这不是一个机制设计问题。发送者不会因为说谎而受到惩罚，所以说真话的披露论据得不到运用。每个参与人的支付都不直接依赖于消息，允许我们将在第 11 章中研究的信号传递起作用。相反，这是一个**廉价交谈博弈**（cheap-talk game），之所以这样讲是因为缺失下述假设：m 不能直接影响支付，参与人不能承诺未来的行动，说谎不会带来惩罚。在第 3 章中我间接提到廉价交谈是怎样在性别战博弈中选择均衡的。特别是，知道另一个参与人想要做什么在低支付下可能有助于避免混合策略均衡。这里发送者和接收者处于一个类似的情形：他们的兴趣是类似的但是不一致，且他们都会从信息传递中受益。在部分混同均衡中，如果期望是适当的，他们就会这样做。然而，如果他们没有预期到廉价交谈是有益的，它就不会是有益的且协调就会失败。

10.2 迈尔森机制设计

287 机制设计中经典的例子是罗杰·迈尔森的例子，即他在他的 1991 年的书的 6.4 节和 10.3 节使用了一种形式的机制设计。卖方有 100 单位的商品。如果商品是高质量的，卖方对每单位的估值是 40 美元；如果商品是低质量的，估值是 20 美元。买方在购买前观察不到质量，对每单位高质量的商品估值是 50 美元，对低质量的估值是 30 美元。考虑到效率，所有的商品都应该从卖方向买方转移。使卖方真实地揭示商品质量的唯一方式是，买方声称如果卖方承认质量是坏的，他购买的商品将多于卖方声称商品是好的情形。我们来看看这是怎么解决的。

取决于谁来提供合同和什么时候提供，会导致不同的博弈。我们将考虑一种博弈，在这个博弈中卖方提供合同，并且是在他知道他的商品质量是高还是低之前提供。

迈尔森交易博弈：签约后隐藏知识

参与人

买方和卖方。

博弈顺序

(1) 卖方提供给买方合同 $\{q_h, p_h, q_l, p_l\}$，在此合同下卖方将宣布他的质量 m 是高还是低，接着买方将会以价格 p_l 或者 p_h 购买卖方拥有的 100 单位中的 q_l 或者 q_h 单位。合同是 $\{w(m)=q(m)p(m), q(m)\}$。如果错误产出被交付的话，支付是 0。

(2) 买方接受或者拒绝合同。

(3) 自然选择卖方商品的类型 s 是高质量的（概率是 0.2）还是低质量的（概率是 0.8），然而买方观测不到。

(4) 如果合同是双方都能接受的，卖方宣布他的类型是 L 或者 H，并且以在合同中标注的适中的数量和价格卖出。

支付

如果购买方拒绝合同，$\pi_{买方}=0$，$\pi_{卖方H}=40\times 100$，$\pi_{卖方L}=20\times 100$。

如果购买方接受合同，卖方宣布价格为 p 和质量为 q 的一个类型，于是有

$$\pi_{买方L}=(30-p)q \text{ 和 } \pi_{买方H}=(50-p)q \tag{10.12}$$

和

$$\pi_{买方H}=40(100-q)+pq \text{ 和 } \pi_{买方L}=20(100-q)+pq \tag{10.13}$$

因为卖方有高质量每单位 40 的机会成本（个人价值或生产成本）和低质量每单位 20 的机会成本。

卖方希望设计合同满足约束的两个集合。首先，买方必须接受合同。所以参与约束是：[2] 288

$$(0.8)\pi_{买方|卖方}+(0.2)\pi_{买方|卖方H}\geq 0$$
$$0.8[(30-p_l)q_l]+0.2[(50-p_h)q_h]\geq 0 \tag{10.14}$$

既然卖方没有理由留给买方剩余，约束将是紧的。然而，注意到如果它是紧的且 q_l 和 q_h 是正的，我们可以得到 $p_l=30$ 和 $p_h=50$。

对卖方自己也应该有一个参与约束，因为也有可能即使在他设计合同时最大化他的支付，他的支付也不会比他拒绝提供合同时更大。然而，他总是

可以提供一个可接受的（如果无所事事）零合同（$q_l=0$，$p_l=0$，$q_h=0$，$p_h=0$），所以我们不必单独写出卖方的参与约束。

其次，卖方必须设计一个合同使得它在他一旦发现自己的类型后就可以引导自己说出事实。也就是说，当然有点不同寻常——卖方就好像是一个把自己当成是代理人并为自己设计一个合同的委托人。这也是为什么本章中的道德风险不同于其他章节中的。随后发生的是，卖方不仅尝试出售商品，还有合同，并且他必须使合同对买方有吸引力。因此他面对两个激励相容约束：一个是当他是低质量的时，

$$\begin{aligned}&\pi_{\text{卖方}L}(q_l,p_l)\geqslant\pi_{\text{卖方}L}(q_h,p_h)\\&20(100-q_l)+p_lq_l\geqslant20(100-q_h)+p_hq_h\\&20(100-q_l)+30q_l\geqslant20(100-q_h)+50q_h\\&q_l\geqslant3q_h\end{aligned}\tag{10.15}$$

另一个是当他是高质量的时，

$$\begin{aligned}&\pi_{\text{卖方}H}(q_h,p_h)\geqslant\pi_{\text{卖方}H}(q_l,p_l)\\&40(100-q_h)+p_hq_h\geqslant40(100-q_l)+p_lq_l\\&40(100-q_h)+50q_h\geqslant40(100-q_l)+30q_l\\&q_h\geqslant-q_l\end{aligned}\tag{10.16}$$

不等式（10.15）低质量的激励相容约束告诉我们 $q_l>q_h$。来自对高质量索取权的价格 50 优于来自对低质量索取权的价格 30。如果卖方不能在他宣布质量为高时卖出大量的产品，虽然他是高质量的，他也可能承认自己是低质量的（考虑像 $q_l=100$，$q_h=5$ 这样的极端例子）。

换句话说，对所有可能的 q_l 和 q_h 都满足高质量的激励相容约束，因为高质量卖方的 40 的机会成本高于他假装有低质量时获得的价格 30。

289 因此，从低质量的激励相容约束中我们知道我们需要 $q_l>q_h$，并且事实上在最优解 $q_l=3q_h$ 处，卖方的支付函数是

$$\begin{aligned}\pi_s&=(0.8)\pi_{\text{卖方}L}(q_l,p_l)+(0.2)\pi_{\text{卖方}H}(q_h,p_h)\\&=0.8[20(100-q_l)+p_lq_l]+0.2[40(100-q_h)+p_hq_h]\\&=0.8[20(100-q_l)+30q_l]+0.2[40(100-q_h)+50q_h]\end{aligned}\tag{10.17}$$

这关于 q_l 和 q_h 都是递增的，所以卖方喜欢选择它们尽可能地大，满足约束 $q_l=3q_h$，$q_l\leqslant100$，和 $q_h\leqslant100$。因此，q_l 会尽可能地大，最优水平是 $q_l=100$，$q_h=q_l/3=33\times(1/3)$。

对于这些博弈，均衡遵循一般的形式，尽管这有些别扭，因为知情参与人（卖方）拥有所有讨价还价能力，因此不知情参与人（买方）的参与约束

是紧的。对于最有诱惑去说谎的类型的激励相容约束是紧的，而另外的类型则不是紧的。使用两个紧约束，我们可以根据其他选择变量求解一些选择变量的值，那么我们就可以通过最大化提供合同的选手（卖方）的支付来求解其他剩余变量的值。即使不同博弈会有它们自己的特殊特征，这仍是有效的一般方法。

如果在博弈结束后可以有另外的合同，那么机制就不会发挥作用。机制不是最优有效的；如果卖方是高质量的，即使双方都认识到买方的估值是 50 和卖方的估值是 40，他也只是卖给买方 33×(1/3) 单位而不是 100 单位。如果他们协商卖出剩余的 66×(2/3) 单位，那么，原先的机制就不会是激励相容的，因为那时低质量的卖方会假装是高质量的，他会第一次卖出 33×(1/3) 单位然后卖出剩下的。承诺的重要性是机制的一般特征。

一种技术观测是，尽管我们根据每单位的价格 p 和在那个价格上的数量 q 来规定合同（p，q），我们也可以用这个来代替数量 q 下的总价格 w，合同为（w，q）。有许多这种类型的机制设计，它们强调的是把每项结果的结果作为从一个参与人到另一个参与人的总体转移支付以及这项分配和其他决定是如何作出的。

10.3 签约后隐藏知识的例子：销售员博弈

假设一个公司的经理派销售员去调查一个潜在的顾客，该顾客可能是一个一般客户也可能是一个富裕客户。如果他是一个一般客户，则有效的销售努力将会很低，同时销售能够保持中等状态。如果他是一个富裕客户，努力与销售均会更高。这类似于生产博弈Ⅷ，但是不相同。在销售员博弈中，即使在均衡外委托人也可以完美地推导出努力。同样，它存在分离均衡和混同均衡。为了分析，我们将使用图表。

销售员博弈

290

参与人

经理与销售员。

博弈顺序

(1) 经理提供给销售员 [$w(m)$，$q(m)$] 形式的合同，其中 w 是工资，q 表示销售水平，m 表示消息。

(2) 销售员决定是否接受合同。

(3) 自然分别以 0.2 和 0.8 的概率选择顾客为富裕客户或一般客户，

销售员观察到顾客的类型，但经理观察不到。

（4）如果销售员接受该合同，他选择他的努力水平 e。他的销售水平 $q=e$，所以他的销售完全揭示了他的努力。

（5）如果他选择 $e=q(m)$，那么销售员的工资是 $w(m)$，其他情况为 0。

支付

经理为风险中性的，销售员为风险规避的。如果销售员拒绝合同，他所得到的支付为 $\bar{U}=8$，经理得到的支付为 0。如果他接受合同，则

$$\pi_{经理}=q-w$$

$$\pi_{销售员}=U(e,w,\theta)，其中\frac{\partial U}{\partial e}<0,\frac{\partial^2 U}{\partial e^2}<0,\frac{\partial U}{\partial w}>0,\frac{\partial^2 U}{\partial w^2}<0$$

图 10—1 给出了经理与销售员的无差异曲线，为了解释的方便，这里对其标注了数值。由于经理代表风险中性的公司，他的无差异曲线是斜率为 1 的直线。如果工资与销售均上升 1 美元，利润将保持不变，并且利润并不直接依赖于 s 为一般客户还是富裕客户。

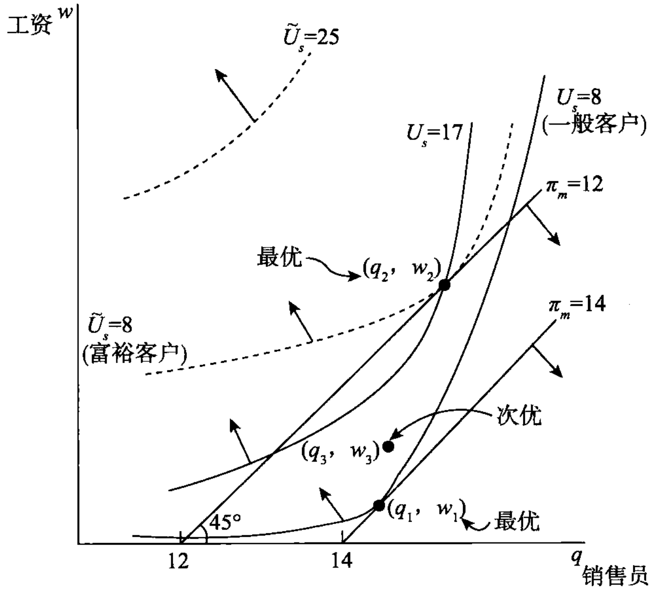


图 10—1　销售员博弈中的混同均衡曲线

由于为了补偿销售员实施的使 q 更大的额外努力，他必须获得更高的工资，因此他的无差异曲线也是向上倾斜的。因为美元的边际效用递减同时努

力的边际负效用递增，它们是凸的。如图 10—1 所示，由于取得给定销售所需的努力依状态而不同，因而销售员有两个无差异曲线集合，其中实线代表一般客户，虚线代表富裕客户。

由于有参与约束，经理必须提供给销售员使之至少取得水平为 8 的保留效用（保留效用在两种状态下相同）的合同。如果真实的情况是顾客为富裕客户，经理将愿意提供一个合同使得销售员处在虚线的无差异曲线$\tilde{U}_s=8$上，此时有效的结果为（q_2，w_2），在该点销售员与经理的无差异曲线相切。在该点如果销售员售出额外 1 美元的商品，他将会要求增加 1 美元的报酬。

如果顾客为富裕客户这一点是共同知识，委托人将会选择 w_2，使得 291
$U(q_2$，w_2，富裕客户$)=8$，并提供强制性合同

$$w=\begin{cases}0, & q<q_2\\ w_2, & q\geqslant q_2\end{cases} \tag{10.18}$$

销售员将会接受合同并选择 $e=q_2$。如果顾客实际上为一般客户，销售员仍然会选择 $e=q_2$，但该选择是未能最大化利润的无效结果。高销售将会是无效的，其原因在于，这时为了避免销售最后 1 美元，他将愿意放弃超过 1 美元的工资。由于销售员取得了 17 的效用，并且他愿意为了使效用更低而工作，因此利润未达到最大。

显示原理表明，在寻找最优合同的过程中，我们只需要关注诱使代理人真实显示他面对顾客的类型的合同。如图 10—1 所示，如果面对富裕客户时的销售需要更多的努力，销售员将总是想让经理相信他面对的是富裕客户，这样他就能够取得额外的报酬，这一额外的报酬在他面对富裕客户销售时得到 8 单位的效用是必不可少的。讲真话的最优合同为一个混同合同，该合同对中等销售q_3支付中等工资 w_3，而无论存在什么消息，对其他任何数量均支付 0。混同合同是一个次优合同，它是在对一般客户最优与对富裕客户最优之间的一种折中。点（q_3，w_3）更接近于（q_1，w_1）而不是（q_2，w_2），其原因在于，一般客户出现的概率更高，同时合同必须满足参与约束

$$0.8U(q_3,w_3,\text{一般客户})+0.2U(q_3,w_3,\text{富裕客户})\geqslant 8 \tag{10.19}$$

均衡的性质取决于无差异曲线的形状。如果它们的形状如图 10—2 所示，则均衡为分离而不是混同的，这时确实存在一个最优的充分显示合同。 292

$$\text{分离合同}\begin{cases}\text{代理人宣布为一般客户：}w=\begin{cases}0, & q<q_1\\ w_1, & q\geqslant q_1\end{cases}\\ \text{代理人宣布为富裕客户：}w=\begin{cases}0, & q<q_2\\ w_2, & q\geqslant q_2\end{cases}\end{cases} \tag{10.20}$$

再一次，根据显示原理我们能将注意力缩小到诱使销售员讲真话的合同。如果无差异曲线如图 10—2 所示，合同（10.20）将诱使销售员讲真话，并且激励相容约束得到满足。如果顾客为富裕客户，但销售员声称他所面对的是一般客户并选择 q_1，这时由于点（q_1，w_1）位于无差异曲线 $\tilde{U}_s=8$ 之下，他的效用将小于 8。如果顾客为一般客户，但销售员声称他所面对的是富裕客户，则尽管（q_2，w_2）确实给销售员带来了比（q_1，w_1）更高的工资，但由于（q_2，w_2）远低于无差异曲线 $U_s=8$，这时额外的收入将无法补偿额外的努力。

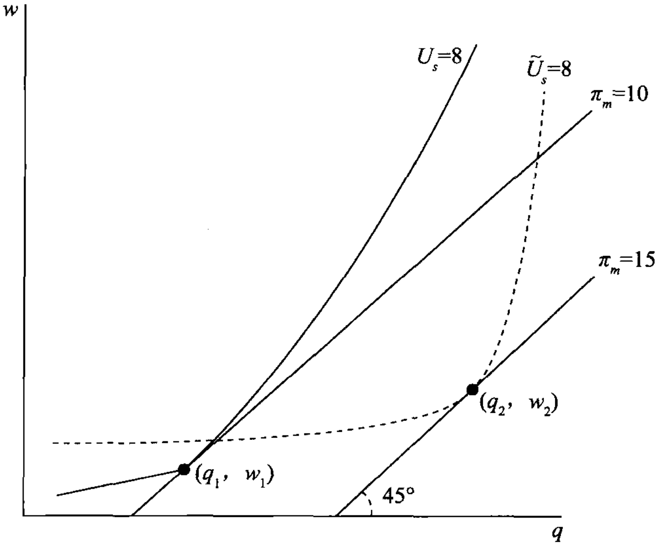


图 10—2　分离均衡的无差异曲线

另一种考虑分离均衡的方式是：把它想成是不同合同的选择，而不是对不同产出提供不同工资的合同。他同意为经理工作，同时在他发现顾客的类型之后将在（q_1，w_1）与（q_2，w_2）中选择一个合同。这两个合同均为强制性合同，在该合同下如果选择（q_i，w_i）之后他生产的产出 $q \neq q_i$，他的支付将是 0。在这种解释下，经理提供了一个**合同菜单**（menu of contracts），并且销售员在得知自己的类型后选择其中之一。

真实世界中的销售合同经常十分复杂，这是因为当工人外出工作无法直接监督时对其测量销售比较容易而测量努力很困难。销售员博弈是一个真实世界中存在的问题。戈尼克（Gonik，1978）描述了由 IBM 在巴西的分公司所使用的隐藏知识合同。最初销售员被分配定额，然后他们宣布自己能完成定额的百分比，并根据这一预测从一系列合同中选择一个相应的合同。我将

使用具体数字来说明。如果史密斯被分配400的定额并且宣布自己能完成定额的100%，这时在销售为400的情况下他将得到$w=70$，而在销售为450的情况下他将得到$w=80$；但如果他宣布能完成定额的120%，则在销售为400与450的情况下他将分别得到$w=60$与$w=90$。在额外努力能够补偿额外销售的情况下，合同鼓励额外努力。如同在销售员博弈中一样，这里的想法是：奖励销售员的目的不仅仅是为了获得高努力，而是为了得到适当的努力。

销售员博弈说明了许多想法。根据销售员效用函数的不同，可以存在混同均衡或者分离均衡。显示原理能被用来避免考虑一些要求经理必须解释销售员说谎的合同。它也表明了当代数函数难以处理或未被具体设定时，如何使用图形来进行分析——在本书大多数只取两个数值的例子中并没有这个问题。

*10.4 格罗夫斯机制

在公共经济学，研究政府支出与税收中的隐藏知识特别重要。在米尔利斯（Mirrlees，1971）关于最优税收文献的经典文章中，市民在收入—生产能力上存在差异，政府希望从更有能力的市民那里收取更高的税收。因为政府不能直接观测到能力，所以这是一个隐藏知识问题。一个更纯正的隐藏知识问题是基于私人偏好的公共产品的水平选择问题。政府必须根据所有市民的联合偏好来决定购买公共产品是否值得，但它首先需要了解这些个人的偏好。与本章中到目前为止的内容不同，这里涉及的不是单个代理人而是一组代理人。此外，这里的委托人是一个直接关心代理人效用的利他主义的政府，而不是仅仅为满足自选择约束和参与约束而关心代理人效用的购车者或保险商。

下面的一个例子改编自Varian（1992，p. 426）。一个城镇的镇长正在考虑安装一个成本为100美元的街灯。街灯附近的五个住户都将被征收20美元的税款，但仅当镇长认为街灯对居民的价值之和超过成本时，他才会决定修建。

镇长的问题是如何发现街灯的价值。如果他可以直接观测到它们，那么如果$\sum_{i=1}^{5} v_i > 100$，他就可以安装街灯。否则，他就将面临一个问题。如果他可以直接向居民询问并告诉他们如果安装街灯那么每个人必须支付20美元的税款，正对着街灯的史密斯家将报告街灯对他家的价值是5 000美元，而背对街灯的布朗则会报告他偏好黑暗并且愿意付5 000美元保持街道黑暗。但市长从中得到的信息仅仅是街灯对史密斯的价值超出20美元，而对布朗的价值低于20美元。交谈是廉价的，优势策略可能是多报或少报。

上述有缺陷的机制可以被表述为

$$M_1: (w(m_i)=20，如果\sum_{i=1}^{5}m_i \geqslant 100 则建造) \quad (10.21)$$

它表示每个居民支出 20 美元，并且如果汇报的价值之和超过 100，街灯将被安装。

街灯博弈

294 **参与人**

镇长和五个家庭。

博弈顺序

(0) 自然选择家庭 i 对安装街灯赋予的值 v_i，使用分布 $f_i(v_i)$。只有居民 i 观测到 v_i。

(1) 镇长宣布一个机制 M，这个机制要求报告 m 的家庭为路灯安装支付 $w(m)$，如果 $g(m_1, m_2, m_3, m_4, m_5)\geqslant 0$，那么安装路灯。

(2) 家庭 i 和其他家庭同时报告值 m_i。

(3) 如果 $g(m_1, m_2, m_3, m_4, m_5)\geqslant 0$，路灯安装且家庭 i 支付 $w(m_i)$。

支付

镇长试图最大化社会福利，包括除这五个家庭之外的纳税人的福利。如果不安装路灯，那么他的支付是 0，其他情况下的支付是

$$\pi_{镇长}=(\sum_{i=1}^{5}v_i)-100 \quad (10.22)$$

约束条件是 $\sum_{i=1}^{5}w(m_i)\geqslant 100$，所以他可以通过增加税收来为灯光进行支付。

如果不安装路灯，那么家庭 i 的支付是 0。其他情况下的支付是

$$\pi_i(m_1, m_2, m_3, m_4, m_5)=v_i-w(m_i) \quad (10.23)$$

另一个机制是：令家庭 i 支付他的消息的总量，或者如果数量为负，支付为 0。该机制是

$$M_2: (w(m_i)=\max\{m_i, 0\}，如果\sum_{i=1}^{5}m_i \geqslant 100 则建造) \quad (10.24)$$

机制 M_2 没有占优策略。如果基于他对其他人的评价的估计，家庭 i 认为

没有他的支持项目也会进行，他将会报告 $m_i=0$，但如果需要的话，他会报告自己评价的数量。

如果所有的家庭都完全知道每一个人的评价，那么就会存在可取得有效结果的连续纳什均衡，很像第 8 章的霍姆斯特龙团队博弈。例如，如果这些评价是众所周知的（10，30，30，30，80），一个均衡可能是报告（0，25，25，25，25）。既然典型的均衡为非对称的，如同家庭最初是怎样知道 v 的一样，被选择的均衡如何成为共同知识就成为一个问题。然而 M_2 是一个简单的机制，并且它已经提供了一个启示：如果人们必须承担自身行为的部分成本的话，他们将更可能报告他们真实的政治偏好。 295

但是，可以证明不仅使说真话成为一个纳什均衡的机制是可以找到的，我们还可以设计一个不管其他人怎样做，说真话对于参与人而言都是最优的机制即**占优策略机制**（dominant-strategy mechanism）。考虑机制 M_3。

$$M_3:\left(w(m_i)=100-\sum_{j\neq i}m_j,\ \text{如果}\sum_{i=1}^{5}m_i\geqslant 100\ \text{则建造}\right) \qquad (10.25)$$

在机制 M_3 下，参与人 i 的消息不影响他的税款，除非它影响到街灯是否会安装。如果参与人 i 的评价是 v_i，当 $m_i+\sum_{j\neq i}m_j\geqslant 100$ 时，他的全部支付是 $v_i-100+\sum_{j\neq i}m_j$，其他情况下是 0。不难看出，在其他人也是真实的纳什均衡中，他是真实的，但我们可以更深入一步：说真话是弱占优的。更重要的是，当说谎会改变镇长的决策时，参与人说真话会使其境况变好。

考虑一个数值例子。假定史密斯的价值为 40 并且所有价值的和为 110，因此项目确实是有效的。如果其他参与人报告真实数额总和为 70，史密斯来自说真话的收益为他的价值 40 减去税收 30。多报并不会改变他的支付，同时报告低于 30 会使他的支付减至 0。

如果我们对史密斯的策略是否为占优的感到疑惑，我们必须考虑当其他参与人说谎时他的最优反应。如果他们少报（例如报告 50 而不是真实值 70），史密斯能通过多报至 60 来补足差额，但这时他所获得的支付将会是 $-10(=40+50-100)$，因而他将更愿意报告真实值 40，从而使项目不可行并得到 0 单位的支付。如果其他参与人多报（例如报告 80 而不是真实值 70），则当项目进行时，史密斯将会得益，所以他会至少报告 20。无论他报告 20，21，40 还是 400，街灯都会安装并且在机制 M_3 下，支付 20 的税额，取得 $20(=40-20)$ 的支付。特别地，他将愿意恰好报告 40，所以这是对其他参与人说谎的弱最优反应。

在像 M_3 这样的占优策略机制下的问题是，它不是预算平衡的。如同我们

上面的博弈规则要求的那样，如果预算有剩余，就不会这样糟，但除了一个它正好是平衡的特殊情况（例如对于所有 5 个家庭 $m_i=20$）可以证明是有赤字的。税收 $w(m)$ 的第一部分是从每个参与人那里收取 100，也就是 500，一旦我们为街灯支付 400，就还有剩余。然而，$w(m)$ 的第二部分是减去四次每个参与人的估值（每人一次），即减去 $4\left(\sum_{i=1}^{5} m_i\right)$。如果项目仍然继续进行，那么 $\sum_{i=1}^{5} m_i > 100$，所以预算会是赤字的。

实际上，总的税收收入也很容易是负的，因为在 M_3 下的“税收”有时候是负的。例如，如果对于所有五个参与人 $v=60$，那么 $m=60$，$w(m)=-140(=100-4\times 60)$。

维克瑞（Vickrey，1961）第一个指出了用于偏好显示的非预算平衡机制，但是是在拍卖的背景下而不是公共经济学中指出的。我们将在第 13 章中
296 看到二级价格拍卖有相同的特殊特征，即参与人自己的报告影响了分配决策（无论街灯是否安装，谁赢得拍卖），而不是以已经作出的决策为条件的他所支付的数额（税收，赢家支付的拍卖价格）。这个思想随后被重新发现并成为众所周知的 Groves（1973）中的格罗夫斯机制（Groves mechanism）。

10.5 价格歧视

现在，我们运用代数学来做一个更传统的机制设计问题，在这个问题中代理人不仅选择揭示他们信息的行动，而且必须选择首先开始博弈。

当一家公司具有市场统治力时（当它是垄断者时最简单），它就希望对不同的消费者索要不同的价格。对于对一辆汽车最多支付 45 000 美元的消费者，公司希望索要 45 000 美元；对于最高支付 36 000 美元的消费者，利润最大化价格是 36 000 美元。但是汽车经销商怎么知道每个消费者愿意支付多少呢？

他不知道，并且那是逆向选择下机制设计问题的内因。愿意最高支付 45 000美元的消费者会隐藏在不是很热情的消费者的伪装下，而且尽管面对垄断者，他也会最终保留消费者剩余——一个**信息寻租**（informational rent），即关于消费者自己类型的私人信息的收益。[3]

庇古（Pigou）在剑桥跟凯恩斯是同时代的人，他在 1920 年有效地将价格歧视分为三种类型，但命名得很晦涩，以至于我把它们放在了章末注里并在这里使用更好的名字：

1. **顾客间价格歧视**（interbuyer price discrimination）：这时卖方可以对不同的买方索取不同的价格。对于一个汉堡，史密斯的价格是每个 4 美元，但琼斯的价格是每个 6 美元。

2. **数量间价格歧视**（interquantity price discrimination）：这时卖方对不同数量索取不同的单位价格。一个顾客可能购买第一根香肠花费 9 美元，第二根香肠花费 4 美元，第三根花费 3 美元。而不是支付“线性”的总价格，即一根 9 美元，两根 18 美元，三根 27 美元，从而他支付的是非线性价格，即一根 9 美元，两根 13 美元，三根 16 美元，如图 10—3 所示的凹价格路径。

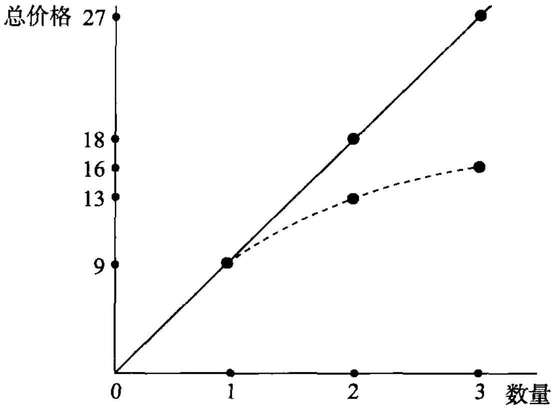


图 10—3　线性和非线性定价

3. **完全价格歧视**（perfect price discrimination）：这是一个综合了顾客间和数量间的价格歧视。当卖方拥有完全信息，可以对每个顾客按每单位收取顾客保留价格时，史密斯可能对他的第一个热狗最高支付 50 美元和对第二个支付 20 美元，然而琼斯对他的第一个支付 4 美元和对第二个支付 3 美元。

为了说明价格歧视与机制设计一样，我们将采用 Varian（1992，third edition）第 14 章中的一个例子的改编版本。

范里安非线性定价博弈

参与人

卖方和顾客。

博弈顺序

（0）自然为顾客安排一种类型 s。顾客依等概率是具有效用函数 u 的“不热情的”或者是具有效用函数 v 的“有价值的”。卖方观测不到自然的行动，但顾客可以。

（1）卖方提供机制 $\{w_m, q_m\}$，在这个机制下顾客可以宣布他的类型是 m 并购买数量 q_m，其总和是 w_m。

（2）顾客选择信息 m 或者整体拒绝机制，根本不购买。

支付

卖方具有零边际成本，所以他的支付是

$$w_u + w_v \tag{10.26}$$

如果 q 是正值，那么顾客的支付是 $\pi_u = u(q_u) - w_u$ 和 $\pi_v = u(q_v) - w_v$；如果 $q=0$，那么他的支付是 0，且 u'，$v'>0$，u''，$v''<0$。对于所有的 q，有价值的顾客的边际支付意愿是变大的，即

$$u'(q) < v'(q) \tag{10.27}$$

条件（10.27）是**单交点性质**（the single-crossing property）的一个例子，我们将在本节最后讨论单交点性质。联合假设 $v(0)=u(0)=0$，这意味着对任意值 q，有

$$u(q) < \nu(q) \tag{10.28}$$

298 图 10—7（a）说明了一个满足上述条件的函数的例子。

为了减弱求解均衡机制的难度，我们从两个简单形式的该博弈开始，博弈限制在（a）完全价格歧视和（b）顾客间歧视。

完全价格歧视

如果卖方知道哪个顾客有哪个效用函数，那么博弈允许完全价格歧视。那时他会通过使两个顾客都满足参与约束来最大化利润。

$$\underset{w_u, w_v, q_u, q_v}{\text{Maximize}}\ w_u + w_v \tag{10.29}$$

约束条件是

$$\begin{aligned} &(a)\quad u(q_u) - w_u \geq 0 \\ &(b)\quad v(q_v) - w_v \geq 0 \end{aligned} \tag{10.30}$$

因为卖方会索取所有顾客愿意支付的价格，所以约束条件呈等式时将得到满足。将 w_u 和 w_v 代入最大化方程，一阶条件变为

$$\begin{aligned} &(a)\quad u'(q_u^*) - c = 0 \\ &(b)\quad v'(q_v^*) - c = 0 \end{aligned} \tag{10.31}$$

所以，卖方会选择数量来使得每个顾客的边际效用等于产品的边际成本，并且选择价格来占有整个消费者剩余：$w^*(q_u^*)=u(q_u^*)$和$w^*(q_v^*)=v(q_v^*)$。图 10—4 说明了不热情顾客的这种情形。

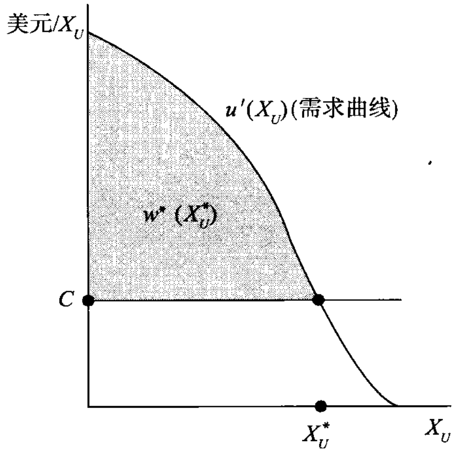


图 10—4 完全价格歧视

顾客间价格歧视

当卖方知道史密斯和琼斯的效用函数且能单独卖给他们时，就会出现顾客间价格歧视问题。如果他可以像以前一样选择w_u和w_v且使用强制性的合同，这就与我们刚才求解的完全价格歧视相同。然而如果卖方必须向每个顾客为每单位索取一个单一价格且让顾客选择数量，问题就变得完全不同了： 299

$$\underset{q_u, q_v, p_u, p_v}{\text{Maximize}}\ p_u q_u + p_v q_v \tag{10.32}$$

满足参与约束

$$u(q_u) - p_u q_u \geqslant 0 \text{ 和 } v(q_v) - p_v q_v \geqslant 0 \tag{10.33}$$

和激励相容约束

$$q_u = \text{argmax}[u(q_u) - p_u q_u] \text{和 } q_v = \text{argmax}[v(q_v) - p_v q_v] \tag{10.34}$$

这会让你想起道德风险。它与给定两个代理人不同的努力负效用，委托人为两个代理人设计两个激励合同来引导适当的努力水平的问题十分相似。

代理人将求解（10.34）式中他们的质量选择问题，得到

$$u'(q_u) - p_u = 0 \text{ 和 } v'(q_v) - p_v = 0 \tag{10.35}$$

因此，我们把（10.32）式中的原始问题简化为

$$\underset{q_u, q_v}{\text{Maximize}}\ u'(q_u)q_u + v'(q_v)q_v \tag{10.36}$$

满足参与约束

$$u(q_u) - u'(q_u)q_u \geqslant 0 \text{ 和 } v(q_v) - v'(q_v)q_v \geqslant 0 \tag{10.37}$$

参与约束将不是紧的。如果它们是紧的话，那么 $u(q)/q = u'(q)$，但因为 $u'' < 0$，所以有消费递减效用且平均效用 $U(q)/q$ 将大于边际效用 $u'(q)$。因此如果没有约束，我们就可以求解问题（10.36）。一阶条件是

$$u''(q_u)q_u + u' = 0 \text{ 和 } v''(q_v)q_v + v' = 0。 \tag{10.38}$$

这正好是垄断者使用的“边际收益等于边际成本”的条件，但是用顾客中的一个代替了整个市场中的一个。

不变的边际成本（这里等于 0）假设使这个问题变得更简单了，因为实际上它使这个问题变成了两个独立的问题。对有价值的消费者选择的合同是与对不热情的消费者选择的合同完全分离的。换句话说，如果成本函数是一个更一般的凸函数 $c(q_u + q_v)$，因为每个条件都依赖于 q_u 和 q_v，（10.38）式中的两个一阶条件可以共同解出来。

回到非线性定价

300 因为卖方对顾客的类型是完全知情的且没有必要担心设计激励会分离他们，所以完全价格歧视和顾客间价格歧视问题都不是机制设计问题。然而，在最初的博弈中卖方主要关注分离。他必须满足的不仅是参与约束，还有自选择约束。卖方的问题是

$$\underset{w_u, w_v, q_u, q_v}{\text{Maximize}}\ w_u + w_v \tag{10.39}$$

满足参与约束

$$\begin{aligned} &(a)\quad u(q_u) - w_u \geqslant 0 \\ &(b)\quad v(q_v) - w_v \geqslant 0 \end{aligned} \tag{10.40}$$

和自选择约束

$$\begin{aligned} &(a)\quad u(q_u) - w_u \geqslant u(q_v) - w_v \\ &(b)\quad v(q_v) - w_v \geqslant v(q_u) - w_u \end{aligned} \tag{10.41}$$

不是所有的约束都是紧的。然而，如果任何类型都没有紧的参与约束，委托人将会丧失增加利润的机会。在与此类似的机制设计中，通常发生的是

合同设计为使得一种类型的代理人仅得到他的保留效用。

假设最优合同事实上是分离的，且同样两种类型都接受一个合同。至少一种类型将会有紧的参与约束。因为在给定的 w 和 q 下，有价值的消费者会比不热情的消费者获得更多的消费者剩余，所以对于（w_u，q_u），一定是不热情的消费者被压低到零剩余。有价值的消费者会从接受相同的合同中获得正的剩余，所以他的参与约束不是紧的。为了劝说有价值的消费者改为接受（w_v，q_v），卖方必须让其从中获得相同的正的剩余。然而卖方不需要比他必须要做的更大方，所以有价值消费者的自选择约束是紧的。

整理我们的两个紧约束并作为等式列出，得到

$$w_u = u(q_u) \tag{10.42}$$

和

$$w_v = w_u - v(q_u) + v(q_v) \tag{10.43}$$

这允许我们将（10.39）式的卖方问题重新表述为

$$\underset{q_u, q_v}{\text{Maximize}}\ u(q_u) + u(q_v) - v(q_u) + v(q_v) \tag{10.44}$$

其一阶条件是

$$\begin{aligned} &\text{(a)} \quad u'(q_u) + [u'(q_u) - v'(q_u)] = 0 \\ &\text{(b)} \quad v'(q_v) = 0 \end{aligned} \tag{10.45}$$

如果我们选择特殊函数形式，（10.45）式中的一阶条件可以得到精确值 q_u 和 q_v，但即使不选择具体函数形式，我们仍然可以阐明它们的值。方程（10.45（b））是说有价值的顾客购买一定数量使得最后一单位的边际效用恰好等于产品的边际成本；他的消费是处于有效率的水平上。但是，不热情的顾客购买的比他的最优数量要少，在假设（10.27（b））中我们使用单交点条件可以推导出 $u'(q) < v'(q)$，这在（10.45（a））式中意味着 $u'(q_u) > 0$，并且不热情的顾客并没有购买足够的数量使得他的边际效用下降到等于边际成本。直觉是卖方一定会卖给不热情的顾客比最优合同的最优值少一些，从而使得合同不会对有价值类型的顾客有吸引力。换句话说，有价值类型顾客的合同对其更有价值实际上会产生分离，所以选择 q_v 来最大化社会剩余。 301

单交点形式有另外一个重要的含义。将（10.45（b））式的一阶条件代入（10.45（a））式的一阶条件，得到

$$[u'(q_u) - v'(q_v)] + [u'(q_u) - v'(q_u)] = 0 \tag{10.46}$$

由单交点性质可知，第二个方括号一定是负的，所以第一个一定是正的。

但是单交点性质是说 $[u'(q_u)-v'(q_u)]<0$，这肯定是正确的，因为 $v''<0$，那么如果 $q_u \geq q_v$，就有 $[u'(q_u)-v'(q_v)]<0$，也就是说，第一项是负的。所以一定有 $q_u<q_v$，否则就自相矛盾了。不热情的顾客购买的数量严格小于有价值的顾客。这与我们的直觉一致，并且也说明了均衡是分离的不是混同的（尽管我们仍没有证明两个参与人都购买正数数量时的均衡，因为一个参与人购买零数量可能是我们最大化问题的角点解，所以很难去很优美地证明它）。

同一个问题的图形表示法

如图 10—5（a）所示，在完全价格歧视下，卖方会对两个购买者针对数量 q_u^* 和 q_v^* 索要 $w_u=A+B$ 和 $w_v=A+B+J+K+L$。然而，索取 $w_u^*=A+B$ 和 $w_v^*=A+B+J+K+L$ 的企图仅仅只会导致两个参与人都选择 q_u^*，这会使有价值的顾客产生 $J+K$ 的支付，而不是在购买 q_v^* 时产生的零支付。在这个混同均衡中，卖方的支付是 $2(A+B)$（该均衡可能是对他最有利的混同均衡，因为它使不热情的顾客获得的支付为 0）。

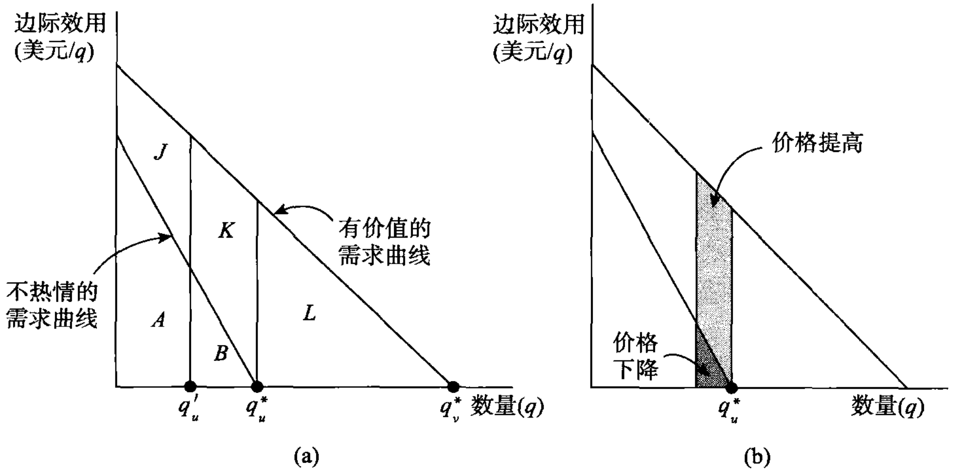


图 10—5　范里安非线性定价博弈

卖方应该通过对数量 q_u^* 和 q_v^* 分别索要 $w_u=A+B$ 和 $w_v=A+B+L$ 来分离这两个购买者，因为不热情的顾客没有理由转向更多的数量，这也会通过数量 L 增加他的利润，该利润比混同时要高。

然而，图 10—5（b）表示卖方稍微减少卖给不热情的顾客的数量（低于 q_u^*）并将售价降低至深阴影区域，卖方的境况会变好。那么卖方就可以向有价值的顾客出售数量 q_v^*，并将售价提高至浅阴影区域。有价值的顾客并不会

被引诱以更低的价格来购买更少的数量，泛泛地说，卖方会获得递增的 L 三角形大小的利润。

直到实现了利润最大化才停止这一过程，这种方法是我们前面利用代数所做的。在图 10—5（a）中所示的我们利润最大化的机制是对数量 q'_u 和 q_v^* 分别索要 $w'_u=A$ 和 $w_v^*=A+B+K+L$。因为 $w'_u=A=u(q'_u)$，不热情的顾客会有紧的参与约束和无效的低水平消费。因为 $w_v^*=A+B+K+L<v(q_v^*)=$ 302
$A+B+J+K+L$，所以有价值的顾客的参与约束是不紧的。他有 J 的剩余。进一步说，他消费对他来讲有效的数额 q_v^*。因为他在购买 q'_u 和 q_v^* 之间是完全无差异的，所以他有紧的自选择约束。他会在 $\pi_v(U)=(A+J)-A$ 和 $\pi_v(V)=(A+B+J+K+L)-(A+B+K+L)$ 之间进行选择。因此，图 10—5 复制了代数结论。

单交点性质

条件（10.27）是**单交点性质**（the single-crossing property）的一个例子，因为它意味着两个代理人的无差异曲线几乎同时相交。联合假设 $v(0)=u(0)=0$，条件（10.27）意味着对于 q 的任意值，有 $u(q)<v(q)$，正如前面的不等式（10.28）所述。因此，在范里安非线性定价博弈中，有价值的顾客比不热情的顾客有更强的需求这一点是很明确的。

然而当我们说顾客 V 的需求比顾客 U 的更强时，我们隐含着下面两个事实：

（1）顾客 V 的平均需求更强：$v(q)/q>u(q)/q$。顾客 V 对于数量 q 可以比顾客 U 支付得更多。

（2）顾客 V 的边际需求更强：$v'(q)>u'(q)$。顾客 V 为额外一单位比顾客 U 支付得更多。

定义（1）和（2）是不等价的。在图 10—6（a）中，顾客 U 在数量 $q=4$

303

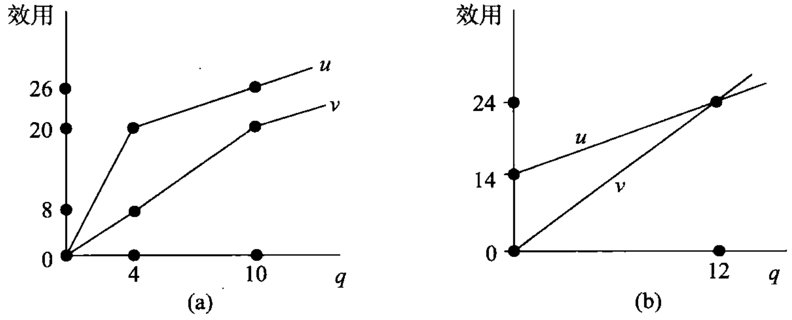


图 10—6　边际需求与平均需求

之前愿意为每单位支付 5，但是此后只愿意为每单位支付 1。顾客 V 在数量 $q=10$之前仅愿意为每单位支付 2，此后愿意为每单位支付 1。结果 $u(q)>v(q)$，由定义（1）可知，顾客 U 有更强的需求。但是在区间 $q\in[4,10]$，顾客 V 愿意为每单位支付 2，而同时顾客 U 仅愿意支付 1，所以在这个区间内由定义（2）可知，顾客 V 有更强的需求。

边际需求对经济行为更重要且这形成了单交点性质的基础。在图10—6（b）中即使 $u(q)<v(q)$ 不成立（因为不满足 $v(0)=u(0)=0$），图中的效用函数也满足单交点性质。顾客 V 总是愿意为每单位支付 2，但是顾客 U 只愿意为每单位支付 1。对于 $u<12$，$u(q)>v(q)$ 成立，但这仅仅是因为顾客 U 开始时是 $u(0)=14$（一个与他行为无关的固定利益）。顾客 U 在 0 消费水平可能是一个快乐的人，但是因为这个快乐不受他的物质环境影响，它就不会影响到我们想作的任何经济预测。因此，定义（2）是最好的：当我们说强需求时，我们的意思是说更高的边际需求。确实，这就是我们通常的图表中高需求曲线的意思，因为马歇尔需求曲线是边际曲线，表示的不是消费者花费在数量 Q 上的总额，而是再额外购买一点时他愿意支付的数额。

图 10—7（a）描述了范里安非线性定价博弈的函数：$u=\sqrt{q}$和 $v=2\sqrt{q}$。两条曲线满足单交点性质，即条件（10.27），因为对于所有的 q，有 $v'(q)>u'(q)$，$u(0)=0$ 和 $v(0)=0$。

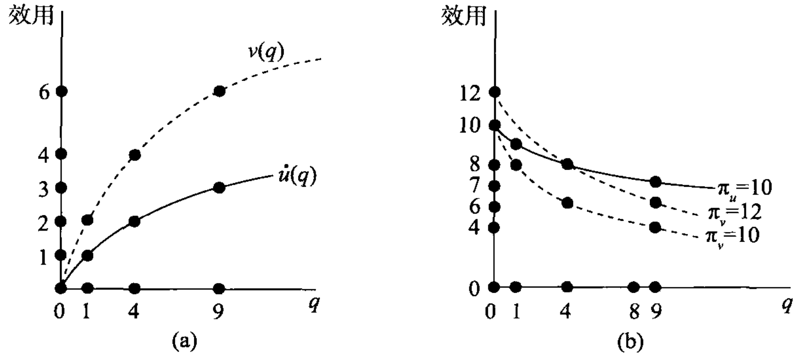


图 10—7　单交点性质的两个描述

考虑单交点性质的另一个思路是使用无差异曲线，这一思路使得“单交点”清晰可见。既然效用是比两个消费束之间无差异的想法更抽象的概念，那么在效用空间中不使用图表会更可靠。在范里安非线性定价博弈中的两种商品是（1）代售的日常用品和（2）依形式 $-w$ 线性进入的货币，$-w$ 是对商品的支付额。支付函数可以写成另一种形式如 $\pi_u(q$，货币$)=$ 货币 $+u(q)$，

304 其中货币 = 财富 $-w(q)$。图 10—7（b）表示顾客是怎样在货币和商品之间权

衡的。一个对比是在（q，货币）空间中通过点（0，10）的两条曲线$\pi=10$。$\pi_u=10$的无差异曲线比$\pi_v=10$下降得要慢，因为商品对于顾客U不像V那样有价值。另一个对比是包括点（4，10）的两条曲线$\pi_u=10$和$\pi_v=12$。这两条曲线也只在那个点相交一次。实际上，对于顾客U的任意一条无差异曲线和顾客V的任意一条曲线，它们或者不相交，或者只相交一次。

通常很自然地假设单交点性质成立，这是分离均衡可能存在的充分条件，但它不是一个必要条件。如果如同许多模型中那样只有两种类型的代理人，重要的是，激励相容约束并不是在所有产出上成立，而只是在机制中委托人特别指定的产出上成立。在靠近0的小范围内，如果参与人V实际上有比参与人U更小的边际，且这两个分离产出足够大，就不会影响分离均衡。

*10.6 收益率规制和政府采购

政府采购和规制自然垄断的中心思想是，使一个私营企业在能够补偿生产成本的前提下有效率地向公众提供某种产品。如果信息是对称的，那么这是一个很简单的问题：无论产品是导弹还是电子产品，政府都只向企业支付有效率生产时的生产成本即可。但是，关于成本和需求，企业通常拥有比政府更多的信息。

正是因为企业拥有比政府更多的取得信息的途径，而且政府总是想方设法获取这些信息，在隐藏行动的道德风险、隐藏知识的道德风险、逆向选择和信号传递等方面已经有大量的文献涉及这个问题。例如，假设政府希望企业向城市提供有线电视服务。企业在同意接受营业许可之前对自己的成本了解得比政府更清楚（逆向选择），在企业接受了营业许可并开始生产运营后，企业能够了解到更多的关于生产成本的信息（隐藏知识的道德风险），企业降低成本的努力可能较大，也可能较小（隐藏行动的道德风险）。政府的问题是以尽可能低的成本得到有线电视服务。政府首先必须足够大方来使得企业接受营业许可，但是它也要尽可能地把付给企业的补偿降到最低水平。政府不能简单地同意补偿企业的生产成本，因为公司将会一直声称有很高的成本且实施低的努力。相反，政府可以拍卖提供这项服务的权利，可以制定一个允许企业索要的最高价格（**最高限价**（price cap）），政府还可以就企业不同的成本水平在不同程度上对企业进行补偿（**收益率规制**（rate-of-return regulation））。

规制营业许可和政府采购在很多方面都是相同的。如果政府想购买一枚导弹，它也会面临向企业支付多少的问题。粗略地说来，尽管政府规制和政府采购在细节上有很多有趣的不同点，政府规制中的最高限价相当于政府采

购中的固定价格，政府规制中的收益率规制相当于政府采购中的成本加成合同（例如，最高限价允许价格向下浮动，收益率规制提供了一个期望而不是有保证的利润）。

采购Ⅰ：充分信息[4]

305 **参与人**

政府和公司。

博弈顺序

(0) 自然提出公司项目昂贵的问题，这会以概率 θ 累计成本 x。如果公司的类型为 N 和 $s=0$，它就是“正常的”；如果类型为 X 和 $s=x$，它就是“昂贵的”。政府和公司都能观察到类型。

(1) 政府提供合同 $\{w(m)=c(m)+p(m), c(m)\}$，这个合同向宣布自己的类型为 m 并会发生成本 $c(m)$ 的公司支付它的被观测到的成本 c 和利润 p。其他情况下向公司支付 0。

(2) 公司接受或者拒绝合同。

(3) 如果公司接受，它会选择努力水平 e，而政府观测不到。

(4) 公司完成导弹生产任务，其成本是政府可以观测到的成本 $c=\bar{c}+s-e$ 加上额外不可观测的成本[5] $f(e-\bar{c})$。政府补偿 $c(m)$ 并支付 $p(m)$。

支付

公司和政府都是风险中性的并且在公司拒绝合同时支付都是 0。如果公司接受合同，它的支付是

$$\pi_{公司}=p-f(e-\bar{c}) \tag{10.47}$$

其中，努力的成本 $f(e-\bar{c})$ 是递增的和凸的，所以 $f'>0$，$f''>0$。为了技术上方便，假设 f 是递增凸的，所以 $f'''>0$。[6]政府的支付是

$$\pi_{政府}=B-(1+t)c-tp-f \tag{10.48}$$

式中，B 为任务的利润；t 为来自支持政府开支的税款的无谓损失。这个数量很大。豪斯曼和波特巴（Hausman & Poterba，1987）估计对美国来讲，这项损失在从利润中征收的财政税收的每 1 美元中有大约 0.3 美元。

306 许多这类情形是隐藏知识的道德风险问题，因为一个参与人尝试去设计一个让另一个参与人会接受的合同来引导接受合同的参与人恰当地使用他的私人信息。

尽管机制设计的文献可以追溯到米尔利斯（Mirrless，1971）以及 1979 年洛布和马加特（Loeb and Magat）提出使用格罗夫斯机制来从规制的公司抽取信息。在巴伦和迈尔森（Baron & Myerson，1982）的论文《在未知成本的情况下规制垄断者》（"Regulating a Monopolist with Unknown Costs"）发表以后，对机制设计的研究达到了一个高潮。麦卡菲和麦克米兰（McAfee & McMillan，1988）以及拉丰和梯若尔（Laffont & Tirole，1993）分别在他们的书中有 168 页和 702 页关于政府规制的各种模型和政策的详尽讨论。在这里，我们将研究一种形式的模型，该模型是被拉丰和梯若尔用来介绍他们的著作的（pp. 55－62）。这是一个存在着两种类型的模型，在该模型中，特殊的成本特征和企业努力是企业的私人信息，而已实现的成本是公开的和非随机的。该模型结合了道德风险和逆向选择，但它表现得更像是一个逆向选择模型。政府会补偿企业的生产成本，但也固定了一个依赖于公司成本水平的补贴数量（如果补贴为负的，就是税收）。该模型希望回答的问题是：（1）企业的努力水平是太高还是太低？（2）补贴是否为正且随着生产成本的上升而上升？

在第一种形式的该模型中，政府可以观测到公司的类型，所以可以得到最优合同。对于后面形式的模型来讲这是一种基准。

因为委托人关心代理人的效用，该模型与本书中大多数其他的委托—代理模型不同（它与街灯博弈类似）。如果政府只是关注导弹的价值和纳税人的成本，那么它的支付是 $[B-(1+t)c-(1+t)p]$。相反，支付函数最大化社会福利，社会福利包括纳税人的福利和企业的福利。企业的福利是 $(p-f)$，两项福利相加就得到（10. 48）式。取决于模型中国家的政治平衡，任一类型的政府支付函数都可能是真实的，且无论使用哪个模型都将具有相似的性质。但是，最后该模型表现得与委托人是自私的模型是相同的，因为尽管政府确实关注代理人的福利，但事实是，税收有无谓损失意味着政府希望尽可能少地支付给公司。

假设此时 B 足够大，使得政府明确地希望生产导弹（随后会说明 B 有多大）。成本（不是产出）是模型的重点。不考虑代理问题，最优产出是导弹，但是政府希望最小化生产导弹的成本。

在采购 Ⅰ 中，公司是否有生产成本昂贵的问题是可以被政府观测到的，因此这可以指定一个以公司的类型为条件的合同。政府向成本为 c_N 的正常企业支付 p_N，向成本为 c_X 的昂贵企业支付 p_X，向没有达到适宜的成本水平的公司支付 $p=0$。因此通过选择满足参与约束和激励相容约束的 p_X，p_N，c_X 和 c_N 来使政府最大化它的支付——等式（10. 48）。

昂贵的公司提供努力 $e=\bar{c}+x-c_X$，获得 $c=c_X$，产生不可观测的努力负效用 $f(e-\bar{c})=f(x-c_X)$，所以，它的参与约束，即报告它的类型为 X 的公司的支付是

$$\pi_X(X)\geqslant 0$$
$$p_X-f(x-c_X)\geqslant 0 \tag{10.49}$$

307 类似地，在均衡中正常的公司提供的努力水平是 $e=\bar{c}-c_N$，所以它的参与约束是

$$\pi_N(N)\geqslant 0$$
$$p_N-f(-c_N)\geqslant 0 \tag{10.50}$$

这里激励相容约束是无足轻重的：既然类型是可观测的，政府会使用一个强制性的合同，在合同中如果公司产生与它的类型不符的成本，那么对它的支付将为 0。

为了使公司的支付为 0 并减少税收中的无谓损失，政府将提供不大于公司努力负效用的补贴。既然不存在不确定性，我们可以转换成本等式并将其重新写为 $e=\bar{c}+x-c$ 或者 $e=\bar{c}-c$。补贴将是 $p_X=f(e-\bar{c})=f(x-c_X)$ 和 $p_N=f(e-\bar{c})=f(-c_N)$。

假设政府知道公司面临成本昂贵的问题。将补贴 p_X 带入政府支付函数（等式（10.48）），得到

$$\pi_{政府}=B-(1+t)c_X-tf(x-c_X)-f(x-c_X) \tag{10.51}$$

因为 $f''>0$，政府支付函数是凹的，且可以使用标准最优技术。关于 c_X 的一阶条件是

$$\frac{\partial\pi_{政府}}{\partial c_X}=-(1+t)+(1+t)f'(x-c_X)=0 \tag{10.52}$$

所以

$$f'(x-c_X)=1 \tag{10.53}$$

方程（10.53）是关于努力的至关重要的有效条件。既然 f 的自变量是 $(e-\bar{c})$，在 $f'=1$ 时努力水平是有效的。在最优努力水平，边际努力负效用等于成本边际减少量。这是最优有效努力水平，我们用下列形式表示：$e^*\equiv e:\{f'(e-\bar{c})=1\}$。

如果我们对正常公司推导一阶条件，同样可以得出 $f'(-c_N)=1$，所以 $c_N=c_X-x$。同样，如果努力的均衡负效用对两个公司来讲是一样的，可是正

常公司在最优努力下会有更低的成本目标，那么两个公司都会选择相同的努力 e^*。指派给每个公司的成本目标是 $c_X=\bar{c}+x-e^*$ 和 $c_N=\bar{c}-e^*$。既然两种类型必须付出相同的努力来完成它们不同的目标，那么 $p_X=f(e^*-\bar{c})=p_N$。两个公司付出相同的有效努力水平并且得到相同的补贴来弥补努力的负效用。我们称这个补贴为 p^*。

B 充分大的假设现在可以进一步明确：它是使 $B-(1+t)c_X-tf(e^*-\bar{c})-f(e^*-\bar{c})\geqslant 0$，这要求 $B-(1+t)(\bar{c}+x-e^*)-(1+t)p^*\geqslant 0$。如果该不等式不成立，那么如果公司具有昂贵的成本函数，政府就根本不会生产导弹，我们这里没有对此进行研究。

采购Ⅱ：不完全信息（逆向选择）

在第二种形式的该博弈中，政府是观测不到生产成本昂贵问题的存在的，308
如果正常企业比生产成本昂贵企业以更低的成本进行生产，那么政府就必须对公司提供激励来让其自愿报告它的类型。

如果政府提供采购Ⅰ中的两个合同，两种类型的公司都会接受生产成本昂贵的合同，即对成本 $c=\bar{c}+x-e^*$ 提供补贴 p^*，足以补偿生产成本昂贵企业付出的努力，对其他成本补贴 $p=0$。这是一个最没有价值的混同均衡，因为任何支付更少的合同都会违背生产成本昂贵企业的参与约束。但是因为正常企业能够通过付出低于 e^* 的努力来把成本降低到 $c=\bar{c}+x-e^*$，所以上述均衡是无效的。因为让正常企业无效生产导弹的社会成本仍比生产成本昂贵企业有效地生产导弹的社会成本低，政府仍愿意生产导弹。但可以证明分离均衡会得到比混同均衡更多的福利。

首先，我们证实某些分离合同比混同均衡要好，接着我们找出最优的分离均衡。优于混同均衡的分离均衡有可供选择的（1）旧混同均衡（p^*，$c=\bar{c}+x-e^*$），和（2）提供稍高的补贴 p，但要求可回收成本 c 稍低的新合同。通过一阶条件（10.53）中 e^* 的定义，$f'(e^*-\bar{c})=1$，所以对旧混同均衡中正常公司付出的努力，有 $f'(e'-\bar{c})<1$。如果正常公司从 e' 开始增加它的小量努力 Δe，由（1）可知，成本会降低 Δe 但公司只是额外被补贴 $f'(e'-\bar{c})\Delta e$ 来补偿其额外负效用。因此，会有一个使得正常公司不再接受旧混同合同且政府喜欢的新合同。

我们已经证明了存在比混同均衡更受政府喜欢的一对分离均衡，但是没有说它是否为最优的。因此我们将开始寻找对宣布“正常”或“生产成本昂贵”的公司最优的合同对（x_N，p_N）（x_X，p_X），其中生产成本昂贵公司在其他成本水平下补贴 $p=0$。（10.48）式中政府支付适合生产成本昂贵企业的概

率为 θ，适合正常企业的概率为（$1-\theta$）。不完全信息下政府的最大化问题是

$$\underset{c_N, c_X, p_N, p_X}{\text{Maximize}}\ \theta[B-(1+t)c_X-tp_X-f(x-c_X)]$$
$$+[1-\theta][B-(1+t)c_N-tp_N-f(-c_N)] \tag{10.54}$$

分离均衡对每种类型的公司都必须满足参与约束和激励相容约束。参与约束与采购Ⅰ中的不等式（10.49）和（10.50）相同：

$$\pi_X(X)=p_X-f(x-c_X)\geqslant 0 \tag{10.49}$$

和

$$\pi_N(N)=p_N-f(-c_N)\geqslant 0 \tag{10.50}$$

对于生产成本昂贵公司的激励相容约束是

$$\pi_X(X)=p_X-f(x-c_X)\geqslant \pi_N(N)=p_N-f(x-c_N) \tag{10.55}$$

309 对于正常公司的激励相容约束是

$$\pi_N(N)=p_N-f(-c_N)\geqslant \pi_N(X)=p_X-f(-c_X) \tag{10.56}$$

因为正常公司能在更少的努力下完成同生产成本昂贵公司同样多的成本水平，不等式（10.56）表示如果我们令 $c_N<c_X$，如同存在一个分离均衡是必要的，我们需要 $p_N>p_X$。不等式（10.56）的第二半部分必须是正的。如果生产成本昂贵公司的参与约束（不等式（10.49））得到满足，那么 $p_X-f(-c_X)>0$。这反过来意味着（10.50）式是一个强不等式；正常公司的参与约束不是紧的。

因为政府希望保持补贴 p 尽可能低来减少额外税收的无谓损失（即问题（10.54）中的 $-tp_N$ 项），所以生产成本昂贵企业的参与约束（10.49）是紧的（且作为等式得到满足）。正常企业的激励相容约束是紧的，因为如果（c_N，p_N）对正常企业严格更有吸引力，政府就会减少补贴 p_N 并节省问题（10.54）中的 $-tp_N$ 项。因此约束（10.56）作为等式得到满足。已知约束（10.49）和（10.56）是紧的，我们从约束（10.49）可以写出

$$p_X=f(x-c_X) \tag{10.57}$$

利用（10.49）式和（10.56）式，有

$$p_N=f(-c_N)+f(x-c_X)-f(-c_X) \tag{10.58}$$

将（10.57）式和（10.58）式中的 p_X 和 p_N 代入最大化问题（10.54），使问题简化为

$$\underset{c_N, c_X}{\text{Maximize}}\ \theta[B-(1+t)c_X-tf(x-c_X)-f(x-c_X)]$$
$$+[1-\theta][B-(1+t)c_N-tf(-c_N)-tf(x-c_X)$$
$$+tf(-c_X)-f(-c_N)] \tag{10.59}$$

关于 c_N 的一阶条件是

$$(1-\theta)[-(1+t)+tf'(-c_N)+f'(-c_N)]=0 \tag{10.60}$$

上式可以化简为

$$f'(-c_N)=1 \tag{10.61}$$

因此，同采购 I 一样，$f'_N(e-\bar{c})=1$。在均衡中正常公司选择有效努力水平 e^*，与它在采购 I 中所做的一样，得到相同的价值 c_N。方程（10.58）可以重新写为

$$p_N=p^*+f(x-c_X)-f(-c_X) \tag{10.62}$$

因为 $f(x-c_X)>f(-c_X)$，方程（10.62）表示 $p_N>p^*$。不完全信息增加了对正常公司的补贴，它会获得比不完全信息博弈中保留效用更多的补贴。310
既然生产成本昂贵公司将获得恰好为 0 的补贴，这意味着政府平均提供给它的厂商高于市场的收益率，并不是因为贪污或政治贿赂，而是因为这是诱导正常厂商揭示它们没有生产成本昂贵问题的方式。这个模型应该牢记于心，它可以作为第 5 章的生产数量模型和第 8 章的有效工资模型的替代模型来解释为什么高于平均的收益率存在。

关于 c_X 的一阶条件是

$$\theta[-(1+t)+tf'(x-c_X)+f'(x-c_X)]$$
$$+[1-\theta][tf'(x-c_X)-tf'(-c_X)]=0 \tag{10.63}$$

上式可以重新写为

$$f'(x-c_X)=1-\left(\frac{1-\theta}{\theta(1+t)}\right)[tf'(x-c_X)-tf'(-c_X)] \tag{10.64}$$

既然方程（10.64）的右边小于 1，那么生产成本昂贵公司比正常公司有更低水平的 f'，而且如果 f' 更低且 $f''>0$，努力一定小于最优值 e^*。或许这可以解释“可以很好地为政府提供服务”——尽管我们的模型可以应用到任何企图购买产品而不是内部生产的组织。然而，既然生产成本昂贵公司的参与约束（10.49）作为等式得到满足，$p_X<p^*$ 一定成立。生产成本昂贵公司的补贴要低于充分信息下的水平，尽管由于它的努力水平更低，它的支付仍保留在相同水平。

我还没有说生产成本昂贵公司的激励相容约束是否为紧的。它不是紧的：生产成本昂贵公司没有被吸引去选择正常公司的合同。这有一些难以理解。因为参与约束对于生产成本昂贵公司是紧的，那么规定激励相容约束（10.55）的左边等于 0，将方程（10.58）中的 p_N 代入并重新整理，得到

$$f(x-c_N)-f(-c_N)\geqslant f(x-c_X)-f(-c_X) \tag{10.65}$$

如图 10—8 所示，不等式（10.65）作为一个严格不等式成立，因为 f 是凸的（$f''>0$）且 f 从更低的点 $-c_X$ 开始的值的增量比从 $-c_N$ 开始的值的增量要
311 小。所以生产成本昂贵公司的激励相容约束不是紧的。

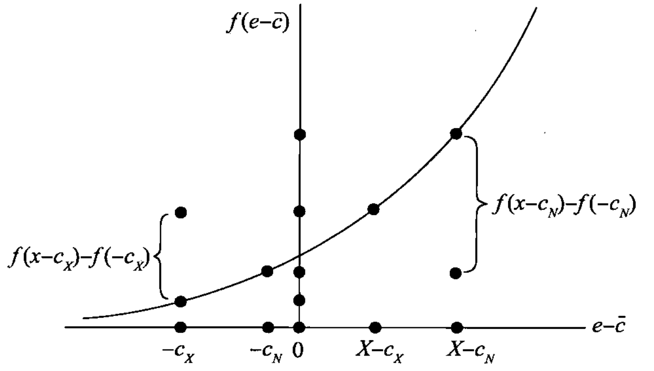


图 10—8　为什么生产成本昂贵公司的激励相容约束不是紧的

总结一下，政府的最优合同会诱导正常公司付出最优有效努力水平并完成最优成本水平，但是会让公司产生正的利润。合同会诱导生产成本昂贵公司付出小于最优努力水平的努力并导致比最优时更高的成本水平，但它的利润是 0。

这就存在一个在政府诱导正确努力数量和最小化公司津贴两个目标之间的权衡。即使在完全信息下，政府也不能提供零津贴，或者公司拒绝生产导弹。在不完全信息下，不仅津贴必须是正的，而且正常公司要获得**信息租金**（informational rents），政府提供一个合同，在这个合同中，政府支付给正常公司的要比完全信息下的更多，以此来阻止它模仿生产成本昂贵公司和选择无效的低努力。然而，生产成本昂贵公司肯定会选择无效的低努力，因为如果它被指派付出更高的努力，就必须支付给它更高的津贴，这就会诱导正常公司来模仿它。在均衡状态下，政府在一定概率的事后无效率补贴和一定概率的无效率低努力水平这两者之间作了一个折中。

在最后一种形式的该博弈中，在合同签署前每个参与人都不知道公司的类型。然而公司在它必须选择它的努力水平前会知道它的类型。

采购Ⅲ：隐藏信息的道德风险

博弈顺序

(1) 政府提供合同 $\{w(m)=c(m)+p(m),c(m)\}$，这个合同向宣布自己类型为 m 并会发生成本 $c(m)$ 的公司支付它的被观测成本 c 和利润 p。其他情况下向公司的支付为 0。

(2) 公司接受或者拒绝合同。

(3) 自然提出公司的项目昂贵的问题，这会以概率 θ 累计成本 x。如果公司的类型为 N 和 $s=0$，它就是"正常的"；如果类型为 X 和 $s=x$，它就是"昂贵的"。只有公司能观察到它的类型。

(4) 如果公司接受，它会宣布它的类型为 m 并选择努力水平 e，政府观测不到 e。

(5) 如果公司接受，公司完成导弹生产任务，其成本是政府可以观测到的成本 $c=\bar{c}+s-e$ 或 $c=\bar{c}-e$ 加上政府观测不到的额外成本 $f(e-\bar{c})$。政府偿还 c 并支付 $p(c)$。

支付

同采购Ⅰ一样，公司的支付是 $(p-f)$。

政府的支付函数与采购Ⅱ中的完全相同，方程 (10.54)

$$\underset{c_N,c_X,p_N,p_X}{\text{Maximize}}\ \theta[B-(1+t)c_X-tp_X-f(x-c_X)] + [1-\theta][B-(1+t)c_N-tp_N-f(-c_N)] \tag{10.54}$$

激励相容约束与采购Ⅱ中的方程 (10.55) 和 (10.56) 完全相同，生产成本昂贵企业的约束是 312

$$\pi_X(X)\geqslant\pi_X(N)$$
$$p_X-f(x-c_X)\geqslant p_N-f(x-c_N) \tag{10.55}$$

正常公司的激励相容约束是

$$\pi_N(N)\geqslant\pi_N(X)$$
$$p_N-f(-c_N)\geqslant p_X-f(-c_X) \tag{10.56}$$

因为在公司签署合同时并不知道它的类型，所以与采购Ⅱ的不同之处在于，现在只有一个参与约束，而不是两个：

$$\theta[p_X-f(x-c_X)]+[1-\theta][p_N-f(-c_N)]\geqslant 0 \tag{10.66}$$

因此，采购Ⅲ中的最大化问题有更少的约束。采购Ⅱ的两个参与约束共同暗

示约束（10.66）会得到满足，但是反过来并不成立。现在生产成本昂贵类型的支付可以是负的，只要正常类型的支付是正的并保证总体支付是非负的。

参与约束（方程（10.66））将会是紧的，政府希望税收中的无谓损失保持低水平，且它能使生产成本昂贵公司的负的支付足够弥补正常企业的正的支付。只要总体期望支付是0，公司将会同意签约。同采购Ⅱ不同，这里没有事前信息租金。

正常公司的激励相容约束将是紧的。公司肯定不愿意承认它能很容易地降低成本，所以它会有很强的激励来模仿生产成本昂贵公司，并一定会被给予好处要求它不要这样。政府不希望支付比必要的更高的好处。如果对于正常公司来说（c_N，p_N）比（c_X，p_X）严格地更有吸引力，政府会减少补贴p_N。因此约束（10.56）′作为等式得到满足。

已知约束（10.56）和（10.66）是紧的，我们可以从约束（10.66）中得到

$$p_X = f(x-c_X) - \frac{[1-\theta][p_N - f(-c_N)]}{\theta} \tag{10.67}$$

将（10.67）式中的p_X代入（10.56）式，我们可以得到

$$p_N - f(-c_N) = f(x-c_X) - \frac{[1-\theta][p_N - f(-c_N)]}{\theta} - f(-c_X) \tag{10.68}$$

对上式关于p_N求解，得到

$$p_N = \theta[f(x-c_X) - f(-c_X)] + f(-c_N) \tag{10.69}$$

代入（10.67）式中，得到

$$p_X = [1-\theta][f(x-c_X) - f(-c_X)] \tag{10.70}$$

313 将（10.69）式和（10.70）式中的p_N和p_X代入最大化问题，将问题简化为

$$\begin{aligned}&\underset{c_N, c_X}{\text{Maximize}}\ \theta\{B-(1+t)c_X - t[1-\theta][f(x-c_X)-f(-c_X)] - f(x-c_X)\}\\ &+[1-\theta][B-(1+t)c_N - t\{\theta[f(x-c_X)-f(-c_X)]\\ &+f(-c_N)\} - f(-c_N)]\end{aligned} \tag{10.71}$$

关于c_N的一阶条件是

$$(1-\theta)[-(1+t)+tf'(-c_N)+f'(-c_N)] = 0 \tag{10.72}$$

正如逆向选择下那样，上式可以化简为

$$f'(-c_N)=1 \tag{10.73}$$

因此，至关重要的有效性条件（10.53）得到满足：$f'(e-c_0)=1$。在均衡中正常公司选择有效的努力水平 e^*，会获得与它在采购Ⅰ和Ⅱ中同样的值 c_N。

既然我们知道努力水平是 e^*，我们可以得到正常公司支付的某些情况。因为 $p^*=f(-c_N)$，最优补贴方程（10.69）可以重新写为

$$p_N=\theta[f(x-c_X)-f(-c_X)]+p^* \tag{10.74}$$

因为 $f(x-c_X)>f(-c_X)$，方程（10.74）表明 $p_N>p^*$，即使 $e_N=e^*$。即使在博弈开始时信息是对称的，正常公司也获得正的支付。它会获得信息租金，因为在博弈的过程中正常公司了解了自己的类型而政府不知道，政府需要支付一些来诱导正常公司承认它的低成本类型。生产成本昂贵公司一定要获得少于保留效用的支付，从而使得整个参与约束作为等式得到满足。

政府可能用下面两种方法中的任意一种使生产成本昂贵公司的支付为负的：（1）比采购Ⅱ中更低的补贴 p_X，或者（2）比采购Ⅱ中更低的 c_X（和因此更高的e_X）。选择（2）是我们刚刚推导出的。因为它将生产成本昂贵公司的努力抬高到接近有效水平，所以它比（1）要好。这会增加剩余量，既然现在没有信息租金，政府将获得全部剩余。因此在采购Ⅲ中的生产成本昂贵公司的努力水平要高于采购Ⅱ中的水平。

既然对于相同的 p_X 有更高的c_X，昂贵型成本—价格对要比采购Ⅱ中的更没有吸引力，结果 $\pi_N(X)$ 更低，政府也就会降低正常型成本—价格对。我们会发现同采购Ⅱ相比，c_N 没有变化，但 p_N 下降了。

概括一下，在采购Ⅲ中政府的最优合同会诱导正常公司付出最优有效努力水平并得到最优成本水平，但将产生比采购Ⅱ中的支付要小的正的支付。合同将诱导生产成本昂贵公司付出比最优努力水平小的努力，尽管比采购Ⅱ中的要大，且导致高于最优的成本水平和负的支付。整体来看，公司的期望支付将是0。

这可能就是一个人把隐藏信息的道德风险比作逆向选择的理由。博弈开始时的对称信息导致在合同形成时的博弈简化，所以委托人最大化问题有三个约束需要满足而不是四个，这导致努力选择更接近于最优水平。然 314
而努力选择并不总会达到最优，因为关于参与人的类型的信息在博弈过程中变得非对称，且设计的合同是为了诱导知情的参与人——公司——来揭示它的信息。

一个实用的结论是，在采购过程中在博弈的一方获得信息优势之前，他们应该尽可能早地签署合同。当然如果一方在开始时就具有信息优势，这就

不适用了；此时在签署协议前尽量拖延可能实际上有帮助，可以让不知情的一方有时间来认识它需要的事实。

只要我们稍加思考，就会发现采购模型可以有很多变化。如果企业只有在接受合同之后才能知道成本的话，模型会发生什么变化？如果两个企业互相竞争一个合同的话，模型会发生什么变化？如果企业能够向政府行贿的话，模型会发生什么变化？如果政府没有能力提出一个无协商余地的合同，而是和企业讨价还价分享项目收益的话，模型会发生什么变化？如果博弈是重复进行的，政府能够在第二期利用前一期得到的信息的话，模型会发生什么变化？如果博弈是重复进行的，政府会不会遵守一个长期合同？政府会遵守长期合同而不是重新谈判吗？如果读者对这些问题感兴趣，可以参见 Lafont & Tirole（1993）。如果它们只是迷惑了你，麦卡菲（McAFee，2002，p. 202）引用的道格・拉森（Doug Larson）的一句格言是采购博弈的一个很切题的概述："完成不可能的任务只是意味着老板会把它算在你日常的职责中。"

注

N10.1 机制、披露、十字交叉检验法和显示原理

- 显示原理在 Myerson（1979）中得到发展，尽管其思想可以追溯到 Gibbard（1973）。显示原理由迈尔森（Myerson，1981）命名。欲进一步了解该原理的细节，迈尔森的博弈论教材是一个很好的参考（Myerson，1991，pp. 258－63，294－99）。还可以参考下列教材：Fudenberg & Tirole（1991a），Laffont & Tirole（1993），1989 年的《产业组织手册》（*Handbook of Industrial Organization*）中由巴伦执笔的那一章，Laffont & Martimort（2002），Bolton & Dewatripont（2005），Stole（2001）。
- 莱夫摩尔（Levmore，1982）讨论了一篇法律回顾性文章中所涉及的在侵权行为伤害、公司权益冻结、财产税中的隐藏信息问题。布朗和艾尔斯的著作（Brown & Ayres，1994）是发送者—接收者博弈思想的一个法律应用，指出了仲裁人作为一种机制的有效性。
- 签约后逆向选择问题在公共政策中很常见。比如，应该允许开处方的医生销售药品吗？对这一问题的回答取决于是医生过量开药的可能性大，还是医生配售药品将导致成本更低、更加便利的可能性大。参见"Doctors as Druggists: Good Rx for Consumers?" *The Wall Street*

Journal, June 25, 1987, p. 24。

- 一个隐藏信息博弈要求自然状态与一个参与人的支付水平相关，但是不一定与生产博弈Ⅶ中的方式相同。10.2 节的销售商博弈有效地对代理人使用效用函数 $U(e, w, \theta)$，对委托人使用效用函数 $V(q-w)$。自然状态之所以重要，是因为代理人的努力的无效性随着状态的变化而变化。在其他问题中，代理人的货币效用随着状态的变化而变化。
- 在 1977 年提交给麻省理工学院的一篇工作论文《纳什实现与福利最优性》（"*Nash Implementation and Welfare Optimality*"）中，艾里克·马斯金（Eric Maskin）提出了十字交叉检验的思想。这篇工作论文被视为经典之作，但是它却在 22 年之后才与其他几篇关于机制设计的文章共同发表在 1999 年的《经济研究评论》（*Review of Economic Studies*）上。 315

N10.3 签约后隐藏知识的例子：销售员博弈

- 有时学生比教授更了解班级内的排名情况。针对排名的争论，一位劳动经济学教授采用了如下机制。每个学生 i 报告其对班级中其他同学的估值。学生 i 的级别是两个量的增函数，一个量是其他学生对 i 的估值，另一个量是 i 的估值与其他学生估值的相关性。这个博弈有很多纳什均衡，但符合实际的是焦点均衡。
- 在具有私人信息的动态道德风险博弈中，**棘轮效应**（ratchet effect）是重要的：代理人会考虑这一期他的关于契约的信息—显示的选择将影响委托人下一期的支付。委托人在第一期可能会允许公共用品的高价格，从而发现其成本比期望的要低，但是在下一期价格将被降低。契约被棘轮化而不能倒转，从而变得更严厉了。因此，公司不太可能选择一个在第一期就显示其成本的契约。这个问题模型化的结果参见 Freixas, Guesnerie & Tirole (1985)。

  巴伦（Baron, 1989）指出，委托人可能故意在第一期设计一个混同均衡，从而自选择不会发生。由于一无所知，他可以在第二期提出一个更有效的分离性契约。

N10.5 价格歧视

- 在 Pigou（1920）第 2 部分第 17 章第 5 节中，价格歧视的命名如下：（1）一级价格歧视（完全价格歧视），（2）二级价格歧视（数量间价格歧视），（3）三级价格歧视（顾客间价格歧视）。这些随意的名字折磨了几代学习产业组织学的学生，同样折磨人的还有统计学中的Ⅰ类错

误和Ⅱ类错误（更好的名字是弃真错误和取伪错误）。在本书中我发明了**顾客间价格歧视**和**数量间价格歧视**两个术语，对于已经知道这两个术语的庇古模式名字的读者而言，它们的意思是清晰的。

麦卡菲（McAfee，2002，p. 261）提出的一种新的分类可能会流行起来：直接价格歧视与间接价格歧视。直接价格歧视基于对顾客特征的观察，并依赖于这些特征来对一定的购买量要价，且这种出售不面向所有人。间接价格歧视采用面向所有人的出售方式，但是这种出售可以通过以下指标筛选顾客：需求数量、需求质量、对优惠广告的关注度、其他不可观测的特征。

- 非线性定价的一个细化类别是**数量折扣**（quantity discount），即每单位价格随着购买量的增加而下降。销售商通常受此限制，因为如果单位价格随着购买量的增加而上升，那么必须采用一些方法以避免精明的消费者化整为零来进行购买。
- 价格歧视的一个较好的参考是威尔逊于1993年出版的书《非线性定价》（*Nonlinear Pricing*）。
- 与大多数博弈不同，在范里安的非线性定价博弈中，每个参与人类型的概率并不相互独立。但是，这并没有使该博弈更复杂。如果假设条件是："自然赋予每个购买者一个效用函数 u 或 v，并且每一类型相互独立的概率为 0.5"，那么这个博弈不是产生两个可能的结果：uv 和 vu（分别对应史密斯的类型和琼斯的类型），而是四个结果：uv、vu、uu 和 vv。均衡将如何变化呢？
- 细心的读者会想："对一定的购买量 x，我们如何断定购买者 V 总是得到比购买者 U 更高的效用？效用无法在个体间比较，而且我们可以调整购买者 V 的效用函数，使得在其效用函数没有本质改变的情况下总是比 U 的效用低。"我的回答是这样的，一般而言，我们可以对 V 和 U 建立效用函数 $v(x)+y$ 和 $u(x)+y$，其中 y 表示所有其他商品上的花费（如范里安书中所做的）。从而可以说，对给定的消费量 x，V 始终得到较高效用的意思是：用货币度量时，对于一定的 x，其总是比 U 有更高的值。将 V 的效用函数调整为 $0.001v(x)+0.001y$ 不会改变这一点。
- 为方便阅读，我优化了范里安非线性定价博弈中的符号。如果你想在黑板上书写或在实践中推导，那么可用简写方式，如记 $u_1(x_1)$ 为 u_1，记 $v(x_1)$、$v(x_2)$ 为 a、b，以减少书写量。我们常常要在符号的简洁性与表意的清晰性之间进行权衡，具体做法取决于你是在黑板上写还是

在计算机上写，是写给自己看还是给别人看。

N10.6 收益率规制和政府采购

- 我更改了拉丰和梯若尔的书中以及本书以前版本中的一些符号。以前赋予每个企业类型一个成本参数 β，构造成本函数为 $c=\beta-e$；现在赋予每个企业类型一个能力参数 a，构造成本函数为 $c=c_0-a-e$。这就允许合意的企业类型总是取得类型参数的高值，正如多数模型所示。
- 实际中，无论是政府采购还是其他大型机构的采购都必须平衡多方面的考虑，而不仅是考虑对供给者的激励。要考虑的最重要的三个方面是：给予政府自己的代理人（安排采购的人）绩效激励，防止这些代理人接受回扣（为得到合同而给予代理人的贿赂）的腐败行为，各种交易成本。关于最后一点，参见 Bajari & Tadelis (2001)。由于拍卖经常用于采购，所以我们也可以从拍卖理论得到很多启示。以下三本书基于完美理论且富于实践建议：保罗·克伦佩雷尔 2004 年的书《拍卖：理论与实践》(Auctions: Theory and Practice)（非技术性），保罗·米尔格罗姆 1999 年的书《面向私有化的拍卖理论》(Auction Theory for Privatization) 和 2004 年的书《拍卖：从理论到应用》(Putting Auction Theory to Work)。

习 题

10.1 披露（难）

一位年老的探矿者拥有一座价值为 θ 的金矿，θ 是满足均匀分布 $U[0, 100]$ 的随机变量。他决心卖出此矿，因为他年纪太大了，如果这个矿卖不出去，对他就没什么价值了。几位有意向的购买者都是风险中性的。如果探矿者愿意的话，他可以深挖矿山得到金矿石的样本，以此揭示 θ 的值。如果他要向购买者展示金矿石，他必须展示真实的金矿石，因为西方不成文法声明：骗子将被悬挂于约书亚树，作为秃鹰的食物。

(a) 当他特别虚弱以至于无法挖矿山并且检验矿石时，他会将矿山卖多少钱？实际中，如果真实价值是 $\theta=70$，这种情况下的价格是多少？

(b) 当他可以无成本地挖探测隧道时，他会将矿山卖多少钱？实际中，如果真实价值是 $\theta=70$，这种情况下的价格是多少？

(c) 当他可以无成本地挖探测隧道并额外花销 10 来校验为购买者提供的结果时，他会将矿山卖多少钱？他的期望支付是多少？

(d) 假使探矿者挖探矿隧道花费 5 的概率为 0.5，花费 120 的概率也为 0.5。记住，矿山的价值在 0～100 之间是去掉购买者挖掘成本的净额。以 P 表示探矿者不向购买者展示矿石时，购买者愿意支付的均衡价格。就作为 P
317 的函数而言，购买者关于其花费 120 挖隧道的概率的后验信念是什么？记这个信念为 $B(P)$（按惯例，假设所有这些参数都是公共知识，尽管只有探矿者知道成本是 0 还是 120）。

(e) 在如下两种情况下，探矿者在（d）情形下的期望支付是多少？如果（ⅰ）隧道花费其 120 或（ⅱ）隧道花费其 5。

(f) 在情形（d）下探矿者的事先期望支付，即他不知道挖隧道的成本时他的期望支付是多少？如果“挖隧道的成本是 5”的概率为 1，那么此时期望支付与前者相比如何？

10.2 工作分配（中等难度）

表 10—1 展示了如下博弈的支付。雷科雇用莎莉做工作 1，或做工作 2，或当一个管理者。雷科相信，莎莉能以同等概率有效完成任务 1 和任务 2。莎莉知道哪个任务更有效率，但是她最想做的工作是当一个管理者，因为这时她可以自主选择工作而不是接受为特定任务设定的工作。首席执行官雷科问莎莉哪个工作有效率。她可以回答“任务 1”，“任务 2”，也可以保持沉默。如果她选择一个，她的表态就是“廉价交谈”的一个例子，因为其对任何人的支付都没有直接影响。参见 Farrell & Rabin (1996)。

(a) 如果莎莉的回答没有选择余地，会发生什么？

(b) 存在完美贝叶斯均衡，其中莎莉怎样回答都无所谓。寻找一个均衡，其中莎莉不总是保持沉默，并解释其为何是一个均衡。你可以假设莎莉没有精神上的或其他方面的约束而必须讲真话。

(c) 存在一个有悖常理的变种均衡，其中莎莉总是说实话且从不保持沉默。对这个均衡给出一个例子，并解释为什么参与人都不愿意偏离均衡。

表 10—1　　沉默权利博弈的支付

		莎莉的工作		
		工作 1	工作 2	管理者
莎莉所知	任务 1 有效率 (0.5)	2，5	1，－2	3，3
	任务 2 有效率 (0.5)	1，－2	2，5	3，3

支付：(莎莉，雷科)。

10.3 代理规则（容易）

史密斯先生打算从琼斯先生或布朗先生那里购买一台专门定制的机器。建造这台机器要花费 5 000 美元，但它除了对史密斯先生外，对其他人都毫无用处。一年后交付时，它以 90%的概率值 10 000 美元，以 10%的概率值 2 000美元，这些都是共同知识。史密斯先生拥有 1 000 美元的资产。签约时，琼斯和布朗相信史密斯有 20%的概率是安德森的秘密代理人，而安德森拥有 50 000 美元的资产。

考虑两种法律体制下的价格：（a）秘密委托人不为他的代理人的债务负责，（b）秘密委托人为他的代理人的债务负责。还请解释这样的道德风险模型倾向于支持什么样的规则。

10.4 激励相容与价格歧视（中等难度）

两个消费者各自有效用函数 $u_1(x_1, y_1) = a_1\log(1+x_1)+y_1-15$ 和 318
$u_2(x_2, y_2)=a_2\log(1+x_2)+y_2-15$，其中 $2<a_1<a_2<12$。y 商品的价格是 1，每个消费者具有初始财富 15。一个垄断者提供商品 x。他在生产能力约束为 10 的情况下，具有不变的边际成本 1.2。他将提供至多两个价格—数量产品包，(r_1, x_1) 和 (r_2, x_2)，其中 r_i 是购买 x_i 单位的总花销。他无法确定哪个消费者选择哪个产品包，但是他可以防止转售行为。

（a）写出垄断者的利润最大化问题。算上生产能力约束，你应该有四个约束。

（b）哪些约束对最优解是紧的？

（c）将紧约束代入目标函数中。得到的表达式是什么？利润最大化的一阶条件是什么？使得利润最大化的 x_1 和 x_2 的值分别是多少？

10.5 格罗夫斯机制（容易）

一台价值 1 000 万美元的计算机将给一家公司的部门 1、部门 2、部门 3 带来好处，这家公司有 100 个部门。每个部门的主管知道带给该部门的利益（变量 v_i，$i=1, 2, 3$）是多少，但是包括首席执行官在内的其他人不知道。部门主管最大化本部门的福利。当部门主管报告自己部门所得的利益时，首席执行官应该采取何种占优策略机制来引导部门主管报告真实情况呢？解释为何这种机制能够引导真实报告，记报告为 x_i（$i=1, 2, 3$）。（比如，你可以假设这个机制中预算在部门间的转移是不变的——即若首席执行官发现部门低报收益，该部门将不会再得到任何东西。）

10.6 两部收费制（容易）（改编自 Varian（14.10））

价格歧视的一种方式是，首先索要一笔一次总付的费用以有权购买某商品，然后每消费一单位该商品收费 p 元。标准的例子是游乐场，其首先收入场费，然后再收取场内的驾乘费。这种价格策略被称为**两部收费制**（two-part tariff）。假设所有的消费者都具有同样的效用函数 $u(x)$，服务成本是 cx。如果垄断者采用两部收费制，与有效产出水平相比，他将生产得太多还是太少？

10.7 汽车销售（中等难度）

一位汽车经销商必须为每一辆入库的汽车支付给汽车制造商 10 000 美元。他面对三个顾客。从经销商的角度看，史密斯的出价在 11 000～21 000 美元之间均匀分布，琼斯的出价在 9 000～11 000 美元之间均匀分布，布朗的出价在 4 000～12 000 美元之间均匀分布。经销商的策略是，分别对每位顾客报一个出价，顾客要么接受，要么放弃，经销商足够聪明，从而可以避免顾客间相互转售。记最高价为 $\bar{V}$，价格范围为 R。

（a）经销商为每位顾客设定的出价是多少？

（b）谁最有可能买车？这与完全信息情况下的完美价格歧视相比如何？与经销商对每位顾客均要价 10 000 美元的结果相比如何？

319 （c）若每位顾客均以 0.25 的概率出价 0 美元，概率分布的其他方面保持不变，对均衡价格有何影响？对均衡期望利润有何影响？

（d）若琼斯以 0.25 的概率出价 30 000 美元，以 0.75 的概率出价在9 000～11 000 美元之间均匀分布，对均衡价格有何影响？在草图上给出价格和利润间的关系。

规制棘轮：第 10 章的课堂博弈

每个公司面对的电力需求在每家为十亿瓦特时是完全无弹性的，公司将会被供给 0 或 1 单位的十亿瓦特电力。价格是由管理者选择的。管理者关心两件事情：（1）获得电力服务，和（2）以尽可能低的价格获得电力。效用偏好利润而讨厌努力。贯穿整个博弈，公共事业公司 i 有“成本减少”参数 x_i，公共事业公司 i 知道 x_i 但管理者不知道。如果公共事业公司可以在很小的努力下减少它的成本，这个参数将很大。每一年下列事件将会发生。

1. 管理者对公司 i 提供价格 p_i。
2. 公司 i 接受或者拒绝。

3. 如果公司 i 接受，它秘密地选择它的努力水平 e_i。

4. 自然秘密地且随机地选择经济冲击 u（在 1～6 之间均匀分布）和公司 i 的冲击 u_i（在 1～6 之间均匀分布），并宣布公司 i 的成本 c_i。成本等于

$$c_i = 20 + u + u_i - x_i e_i \tag{10.75}$$

5. 如果公司 i 拒绝合同，它获得的期间收益为 0。如果它接受合同，它的支付是

$$\pi_i = p_i - c_i - e_i^2 \tag{10.76}$$

如果管理者的合同被拒绝，它获得的期间收入为 0，其他情况下，它从那个公司获得的支付是

$$\pi_{管理者}(p_i) = 50 - p_i \tag{10.77}$$

所有变量都取整数。

该博弈会在该班级存在的时期内一直重复，且贯穿整个博弈，每家公司都保持相同的 x 值。

【注释】

[1] 顺便说一下，在均衡中“总是 $m_p = m_a =$ 好”不会发生，因为代理人倾向于错误匹配获得零支付，而不是在坏状态下在“炸油锅”的威胁下去尝试获取 q_g。

[2] 这里可以运用另一种参与约束，如果在接受合同并获知卖方报告其类型后，买方有权选择拒绝购买任何物品。但是在这里并没有任何不同。

[3] 汽车销售员一个标准的公开伎俩是询问：“那么，你今天能为这辆车花费多少钱呢?”我的建议是：不要告诉他。这听起来很显然，但是在你的部门主任问你多高的工资能够使你留下而不是到另一家大学去时请记住它。

[4] 我已经从本书的第三版就改变了符号。昂贵变量 x 替代了能力变量 a；p 替代了 s；类型 L 的公司变成了生产成本昂贵的公司。

[5] 读者可能会问，为什么无效用被规定为 $f(e-\bar{c})$ 而不仅是 $f(e)$。理由是接下来我们会得到均衡成本水平（$\bar{c}-e^*$），当 $c_0=0$ 时它是负的。

[6] f 的自变量被规范为 $\bar{c}-e$ 而不仅是 e 是为了避免在下面的代数中出现混乱。假设 $f''' > 0$ 通过式（10.59）中两个凹函数的差分的凹化最大化问题允许使用一阶条件，这就使得确定的合同要优于随机合同。参见 Laffont & Tirole（1993，p. 58）。

第 11 章
信号传递

11.1 知情参与人先行动：信号传递

320 信号传递是代理人在逆向选择下传达自己类型的一种手段。信号传递合同确定工资依赖于可观测的特征（信号），即在自然选择代理人的类型后，代理人将采取表明自己的行动。图 7—1（d）和图 7—1（e）给出了两种存在信号的模型的扩展形式。如果代理人在合同提供之前选择信号，则称他向代理人传递信号；如果他在之后选择信号，则称委托人在对其进行甄别。我们不仅会看到行动顺序的不同十分重要，而且会发现不同类型的代理人为了使信号传递发生作用的信号传递成本一定是存在差异的，而且模型的结果经常是无效率的。

我们将以一个简单的信号传递模型开始分析，在这个模型中，工人选择用教育水平来作为自己能力的信号。11.1 节给出了信号传递模型的基本性质，11.2 节表明了模型的细节是如何影响均衡的。11.3 节将注意力从技术细节转向在教育中实际应用该模型时须考虑的问题。11.4 节将博弈变为信息甄别模型。11.5 节用图形分析和研究新股发行中的信号传递问题，结果表明当代理人有两个不可观测的特征时，我们需要使用两个信号来进行分析。11.6 节表述完全不同的信号干扰思想：参与人用来掩饰信息而不是揭示信息的策略行为。

斯宾塞（Spence，1973）在教育问题中引入了信号传递的思想。我们将构造一系列的模型来给出下列观点的正式形式，即现实中教育对提高个人的

生产性能力没有直接影响，但它有助于向雇主表明个人的能力。令半数工人的类型为“高能力”，半数为“低能力”，这里能力是一个数字，代表产出的美元价值。我们假定产出为不可合同化变量，同时没有不确定性。如果产出是可合同化的，它就应存在合同中（如同第 7 章所述）。没有不确定性是一个简化假设，它使得合同仅仅是信号（而不是信号与产出的组合）的函数。

雇主没有观测到工人的能力，但他们确实了解能力的分布，同时他们观测到工人的教育。为简化起见，我们规定参与人为一个工人和两个雇主。雇 321
主之间的竞争使利润降至零，因而工人得到了交易的收益。工人的策略是他的教育水平与对雇主的选择。雇主的策略是提供一个工资是教育水平函数的合同。模型的关键之处是信号（教育水平）对高能力工人的成本较小。

在博弈的前四个变体中，在雇主决定报酬应该怎样随着教育水平变化之前，工人选择他们的教育水平。

教育 I

参与人

一个工人和两个雇主。

博弈顺序

(0) 自然选择工人的能力 $a\in\{2, 5.5\}$，我们分别称之为“低能力”与“高能力”，并且两者的概率均为 0.5。工人观测到变量 a，但雇主观测不到。

(1) 工人选择教育水平 $s\in\{0, 1\}$。

(2) 每个雇主提供一个工资合同 $w(s)$。

(3) 工人接受一个合同，或者拒绝所有合同。

(4) 产出等于 a。

支付

工人所获的支付为他的工资减去教育成本，雇主所获的支付为他的利润。

$$\pi_{工人}=\begin{cases} w-8s/a，如果工人接受合同 w \\ 0，如果工人拒绝所有合同 \end{cases}$$

$$\pi_{雇主}=\begin{cases} a-w，合同被接受的雇主 \\ 0，其他雇主 \end{cases}$$

支付假定低能力工人的教育成本较大，正是这个条件使分离得以发生。322

如同在任何隐藏知识的博弈中一样，我们必须同时考虑混同与分离均衡。在教育Ⅰ中两种均衡都存在。在混同均衡中（我们称之为混同均衡 1.1），两种类型的工人都选择零水平的教育，雇主不考虑教育水平，为两种类型的工人都支付 3.75（=(2+5.5)/2）单位的零利润工资。

$$\text{混同均衡 1.1}\begin{cases}s(\text{低})=s(\text{高})=0\\ w(s=0)=w(s=1)=3.75\\ \text{Prob}(a=\text{低}\mid s=1)=0.5\end{cases}$$

由于不知情参与人对非均衡行为的解释的重要性，混同均衡 1.1 不是简单的纳什均衡，而是要规定为完美贝叶斯均衡。由于 $s=1$ 从未在均衡中出现，均衡需要规定当它发生时雇主的信念。在混同均衡 1.1 中信念为消极推测（参见 6.2 节），这时雇主相信选择 $s=1$ 的工人以 0.5 的先验概率为低能力。给定这个信念，两种类型的工人都意识到教育是无用的，因而最终工人不会选择费力接受非生产性教育，这一结果并不令人吃惊。

在其他信念下，混同均衡将不能维持。举例来讲，在 $\text{Prob}(a=\text{低能力}\mid s=1)=0$ 的信念下，雇主将会认为任何接受教育的工人都是高能力的，这时由于高能力工人将有采取偏离均衡行为而接受教育的激励，结果混同将不再是纳什均衡。这将导致信号传递发生作用的分离均衡出现，在新的均衡中高能力工人为了向雇主证实自己的高能力而接受教育。

$$\text{分离均衡 1.2}\begin{cases}s(\text{低})=0,\ s(\text{高})=1\\ w(s=0)=2,\ w(s=1)=5.5\end{cases}$$

使用第 7～10 章中的方法，通过利用均衡必须满足的标准约束，我们将证明分离均衡 1.2 为完美贝叶斯均衡。一对分离合同必须在两个约束条件下最大化高能力与低能力工人的效用，这两个条件是：(a) 参与约束，即企业提供合同不会招致损失；(b) 自选择约束，即低能力工人不会被高能力合同所吸引，同时高能力工人不会被低能力合同所吸引。雇主的参与约束要求

$$w(0)\leqslant a_L=2 \text{ 和 } w(1)\leqslant a_H=5.5 \tag{11.1}$$

雇主之间的竞争使得（11.1）中的表达式的等号成立。低能力工人的自选择约束为

$$U_L(s=0)\geqslant U_L(s=1) \tag{11.2}$$

在教育Ⅰ中为

$$w(0)-0\geqslant w(1)-\frac{8\times 1}{2} \tag{11.3}$$

由（11.1）式可知，在分离均衡1.2中低能力工人的分离工资为2，而高能力工人的分离工资为5.5，因此自选择约束（11.3）得到满足。

高能力工人的自选择约束为

$$U_H(s=1)\geqslant U_H(s=0) \tag{11.4}$$

在教育Ⅰ中为

$$w(1)-\frac{8\times 1}{5.5}\geqslant w(0)-0 \tag{11.5}$$

分离均衡1.2满足约束（11.5）。

教育Ⅰ存在另外一个可能的混同均衡，即s(低)$=s$(高)$=1$，但由于低能力工人将会偏离均衡而接受零教育，所以它将不构成一个均衡。由于

$$U_L(s=0)=2\geqslant U_L(s=1)=3.75-\frac{8\times 1}{2} \tag{11.6}$$

因此即使该偏离使雇主以概率1相信他们为低能力的并将工资减至2，低能力工人仍将偏好偏离。所以$s=1$的混同均衡将会违反低能力工人的激励相容条件。

与第9章中的博弈不同的是，对该博弈我们不必担心非混同约束。有人或许会认为由于雇主争相雇用工人，竞争的结果或许是雇主提供混同合同，并且相对于混同合同而言高能力工人更加偏好分离合同。但该推理并不正确，原因是雇主的竞争方式不是通过提供合同，而是通过对接受教育的工人作出反应。这就是为什么这是信号传递而不是信息甄别：雇主没有事先提供合同，因此没有改变工人接受教育的激励。

我们可以通过观察最优反应来检验均衡。给定工人与另一个雇主的策略，一个雇主必须支付工人的全部产出，否则，别的雇主会吸引走工人。给定雇主的合同，低能力者在不接受教育而获得支付2与接受教育而获得支付1.5(=5.5−8/2)之间进行选择，因而他将选择不接受教育。高能力者在不接受教育而获得支付2(=2−0)与接受教育而获得支付4.05(=5.5−8/5.5，取近似值)之间进行选择，因而他将选择接受教育。

与混同均衡不同的是，分离均衡不需要规定信念。在均衡中两个教育水平都可能出现，所以贝叶斯法则总会告诉雇主该如何解释观察到的现象。如果他们观察到代理人接受教育，他们将推断他为高能力；如果他们观察到代理人未接受教育，他们将推断他为低能力。工人可以自由偏离自身的均衡教育水平，但雇主的信念会继续基于均衡行为。如果一个高能力工人选择$s=0$并告诉雇主他是希望混同的高能力者，雇主将不会相信，因而提供$s=0$时的

低工资 2（而不是混同工资 3.75 或高工资 5.5）。

低能力工人的教育成本较高，这一点使得分离成为可能。如果两种类型
工人的教育成本相同，则低能力工人将会模仿高能力工人，因而教育将不会
324 成为一个有效的信号。信号传递成本必须不同的要求被称为我们在第 10 章看
到的**单交点性质**（single-crossing property）。当成本以图形来表示时（如图
11—1 所示），两种类型的无差异曲线只相交一次。

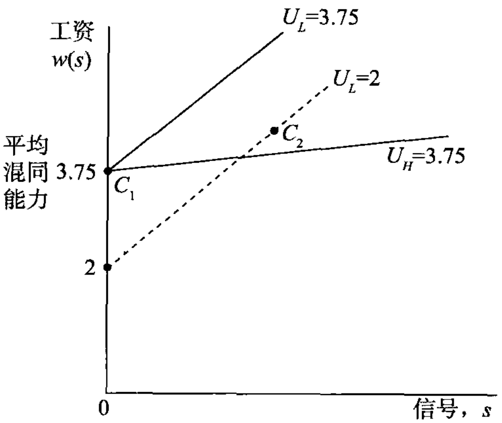


图 11—1　教育Ⅵ：甄别博弈中不存在混同均衡

我们有一个条件更强的例子，即要求有混同均衡的信念是不合理的。回到 6.2 节中的均衡精炼问题，回忆乔和克雷普斯（Cho & Kreps，1987）提出的那个问题，即不论不知情参与人如何转变信念，一种类型的参与人是否不可能通过偏离而获益。在这里，低能力工人无法通过偏离混同均衡 1.1 而获益。在设定的消极推测下，均衡时低能力工人所获的支付为 3.75，而当他偏离并接受教育时得益为－0.25(＝3.75－8/2)。在最可能鼓励偏离的信念下（即偏离的工人以概率 1 为高能力时），低能力工人偏离时会得到工资 5.5，但他的偏离支付仅为 1.5(＝5.5－8/2)，小于 2。更合理的信念似乎是接受教育的工人为高能力，这并不支持混同均衡。

分离均衡的性质支持了教育本身无用甚至有害的说法，原因是它强加了社会成本但没有提高总产出。尽管我们会因为斯宾塞教授本人认为作为哈佛学院的系主任是值得的这一事实而感到宽慰，但理论的暗示是强烈的，这意味着我们应该严肃考虑该模型对真实世界的适用程度。我们在后面将会考虑这一点。就目前而言，值得注意的是，与真实世界不同，模型中关于代理人能力的信息没有社会价值，因为即使是在充分信息下，所有代理人都将受雇于相同的工作。如果额外津贴不可能，在社会计划者不能同时使两种类型工

人变得更好的意义上，分离均衡 1.2 是次优有效的。分离帮助了高能力工人，但同时伤害了低能力工人。

只要教育信号对于低能力工人有正的成本，即使教育对于高能力工人有零或者负成本，分离也会发生。然而，在这样一个例子中，信号是非策略的；这仅仅会在以下情况下发生：当高能力工人的有效教育水平太高使得低能力工人不能模仿，并且雇主因此从教育水平推测出本质和需求的能力。

11.2 教育信号传递模型的各种变体

尽管教育Ⅰ是一个有趣并且重要的模型，但它没有给出关于信号传递的所有推论。本节将以教育Ⅱ开始，它放弃了完美贝叶斯均衡概念中对信念的任意假设。除了参数值的差异外，教育Ⅲ与教育Ⅰ的设定相同，但它存在两个混同均衡而不是一个分离与一个混同均衡。教育Ⅳ将允许连续的教育水平，它表明在对策略空间限制较少的情况下，教育Ⅰ与教育Ⅲ中的所有结果（以及其他结果）都可统一到一个模型中。

教育Ⅱ：引入颤抖，不存在非均衡行为

教育Ⅰ中的混同均衡要求建模者规定雇主的非均衡信念。一个等价的模型是通过构造博弈树来支持信念，而不是通过均衡概念直接将其引入。该方法在 6.2 节的博士录取博弈中曾简要地提到。这样做的好处是，关于信念的假定与其他假定一道被归于博弈的规则中。因此我们替换教育Ⅰ中自然的行动并修改支付，如下所示。 325

教育Ⅱ

博弈顺序

（0）自然选择工人的能力 $a\in\{2, 5.5\}$，每种能力的概率均为 0.5。（工人观测到 a，但雇主观测不到。）自然以概率 0.001 赋予一个工人免费教育 $s=1$。

（1）博弈如同教育Ⅰ中那样继续。

支付

$$\pi_{工人}=\begin{cases} w-8s/a，\text{如果工人接受合同 } w\text{（一般情形）} \\ w，\text{如果工人接受合同 } w\text{（免费教育）} \\ 0，\text{如果工人不接受合同} \end{cases}$$

无论工人的能力如何，他都将以 0.001 的概率取得免费教育（这可能为一些特殊的原因如某些人接受与工资前景无关的教育建模）。如果雇主观察到一个受过教育的工人，他知道工人或许是这种稀有类型，在这种情况下工人为低能力的概率为 0.5。在任何均衡中都存在 $s=0$ 与 $s=1$，并且不需要规定信念教育Ⅱ中的两个均衡与教育Ⅰ中几乎相同。分离均衡不取决于信念，因此仍为一个均衡。混同均衡 1.1 变成“近乎”混同均衡——几乎所有的工人都采取相同的行动，但少量接受免费教育者的行为不同。我们最感兴趣的两种类型（高能力与低能力）未被区分，但对普通工人与接受免费教育的工人进行了区分。即使是该少量分离也使得雇主使用贝叶斯法则，从而消除了外生信念的需要。

更正式地，混同均衡会使两种能力的工人都选择 $s=0$，除非某个工人是极少数禀赋自动赋为 $s=1$ 中的一个。在非均衡下，如果雇主观测到 $s=1$，他可以利用贝叶斯法则：

$$
\begin{aligned}
&\text{Prob}(a=\text{低}\mid s=1)\\
&=\frac{\text{Prob}(s=1\mid a=L)\text{Prob}(L)}{\text{Prob}(s=1\mid a=L)\text{Prob}(L)+\text{Prob}(s=1\mid a=H)\text{Prob}(H)}\\
&=\frac{0.001\times 0.5}{0.001\times 0.5+0.001\times 0.5}\\
&=0.5 \qquad (11.7)
\end{aligned}
$$

因为偏离不会增加雇主对工人能力的估计，所以普通工人不会偏离 $s=0$。

教育Ⅲ：不存在分离均衡，两个混同均衡

326 下面我们修改教育Ⅰ，使得可能的工人能力由 {2，5.5} 变为 {2，12}。分离均衡消失，但一个新的混同均衡出现。在混同均衡 3.1 与混同均衡 3.2 中，两个混同合同都支付相同的零利润工资 7(=(2+12)/2)，同时两种类型的代理人接受相同数量的教育，但数量取决于均衡。

$$
\text{混同均衡 3.1}\begin{cases} s(\text{低})=s(\text{高})=0\\ w(0)=w(1)=7\\ \text{Prob}(a=\text{低}\mid s=1)=0.5\ \text{（消极猜测）}\end{cases}
$$

$$
\text{混同均衡 3.2}\begin{cases} s(\text{低})=s(\text{高})=1\\ w(0)=2,\ w(1)=7\\ \text{Prob}(a=\text{低}\mid s=0)=1\end{cases}
$$

混同均衡 3.1 类似于教育Ⅰ与Ⅱ中的混同均衡，但混同均衡 3.2 为无效

的。两种类型的工人得到了相同的工资，但他们都承受了教育成本。如果某个工人不接受教育，雇主将对其支付低能力工资而不是平均工资，因此每种类型的工人都将接受教育。

仔细考察混同均衡 3.2 将表明分离均衡不存在的原因。任何分离均衡都将要求 $w(0)=2$，$w(1)=7$，但这正是导致混同均衡 3.2 的合同。由于低能力类型将愿意取得 $s=1$ 以获得高工资，因而自选择与零利润约束不能同时得到满足。

在无法达到最优有效的意义下，信息问题产生了无效率，这一点并不令人吃惊。事实上，令人吃惊的是，在一些非对称信息博弈中（例如 7.4 节中的百老汇博弈），通过使用一些技巧（例如油锅合同）仍能达到最优。更经常地，我们发现结果是次优有效的：给定信息约束，社会计划者不能在不损害某种类型参与人的情况下改变均衡。混同博弈 3.2 甚至不是次优有效的，原因是混同博弈 3.1 与混同博弈 3.2 对工资与任务的工人分配是完全相同的。如同分级协调中选择占优均衡（dominated equilibrium）所引起的无效一样，这里的无效纯粹是一个不幸的预期的问题。

混同博弈 3.2 也说明了混同定义中的一个细微之处，这表现在尽管两种类型的工人采纳了相同的策略，但均衡合同对不同的教育提供了不同的工资。对不接受教育的工人支付低工资的潜在威胁不必真正执行，所以均衡仍被称为混同均衡。注意完美性并未排除基于信念的威胁。模型对雇主强加了这些信念，并且由于他相信执行威胁是最优的反应，因此他会这样做。在某些信念下雇主得到更高的支付，但他不能自由选择信念。

使用教育Ⅱ中的方法，我们加入一个新的条件，即两种类型均以 0.001 的外生概率完全不能购买教育，在该条件下混同博弈 3.2 得以剔除。这样我们在均衡中就可以观察到所有可能的行为，并且由于这时唯一的合理信念是 327
当 $s=0$ 出现时工人有相等的概率为高能力或低能力，结果将会是混同博弈 3.1。剔除混同博弈 3.1 需要一些不太合理的信念。例如，低能力者以 0.001 的概率，而高能力者以 0 的概率获得免费教育。

前三个博弈说明了信号传递的要点：（1）分离与混同均衡都可能存在；（2）非均衡行为的信念很重要；（3）有时一个完美贝叶斯均衡可以帕累托优于其他均衡。这些结果是可靠的，但教育Ⅳ将说明使用二元策略空间（而不是连续与无界策略空间）的简单博弈的危险性。到目前为止，教育被限于 $s=0$ 或 $s=1$，教育Ⅳ允许 s 取更大的或中间的数值。

教育Ⅳ：连续信号与连续均衡

现在我们回到教育Ⅰ，唯一的不同是教育 s 能在 0 到无穷之间任意取值。

教育Ⅳ

参与人

一个工人和两个雇主。

博弈顺序

(0) 自然选择工人的能力 $a\in\{2, 5.5\}$，每种能力的概率均为 0.5。工人观测到变量 a，但雇主观测不到。

(1) 工人选择教育水平 $s\in[0, \infty)$。

(2) 每个雇主提供工资合同 $w(s)$。

(3) 工人接受一个合同，或者拒绝所有合同。

(4) 产出等于 a。

支付

工人所获的支付为他的工资减去教育成本，雇主所获的支付为他的利润。

$$\pi_{\text{工人}}=\begin{cases}w-8s/a\text{，如果工人接受合同 }w\\0\text{，如果工人拒绝所有合同}\end{cases}$$

$$\pi_{\text{雇主}}=\begin{cases}a-w\text{，合同被接受的雇主}\\0\text{，其他雇主}\end{cases}$$

现在博弈取得混同与分离均衡的连续集，其差异在于选择的教育水平。在混同均衡中，均衡教育水平为 s^*，其中区间 $[0, \bar{s}]$ 内的任意一个 s^* 支持一个不同的均衡。最可能支持混同均衡的非均衡信念为 $\text{Prob}(a=\text{低}\mid s\neq s^*)=1$，
328 所以我们使用该信念来找到 $\bar{s}$，即能由混同均衡产生的最大数量的教育水平。均衡为混同博弈 4.1，其中 $s^*\in[0, \bar{s}]$。

$$\text{混同均衡 4.1}\begin{cases}s(\text{低})=s(\text{高})=s^*\\w(s^*)=3.75\\w(s\neq s^*)=2\\\text{Prob}(a=\text{低}\mid s\neq s^*)=1\end{cases}$$

临界值 $\bar{s}$ 能由低能力类型的激励相容约束得到，当 $s^*=\bar{s}$ 时该约束为紧的。最有诱惑力的偏离水平是零教育，所以它是出现在约束中的偏离。

$$U_L(s=0)=2\leqslant U_L(s=\bar{s})=3.75-\frac{8\bar{s}}{2}\tag{11.8}$$

等式 (11.8) 得出 $\bar{s}=7/16$。任何低于 7/16 的 s^* 也会支持一个混同均衡。注

意高能力类型的激励相容约束不是紧的。如果一个高能力工人偏离到 $s=0$，他也将会被认为是一个低能力工人，所以

$$U_H(s=0)=2\leqslant U_H\left(s=\frac{7}{16}\right)=3.75-\frac{8\bar{s}}{5.5}\approx 3.1 \tag{11.9}$$

在分离均衡中，低能力工人选择的教育水平为 0 而高能力工人为 s^*，其中区间 $[\bar{s}, \bar{\bar{s}}]$ 内的每个 s^* 支持一个不同的均衡。现在即使在分离均衡中也存在可能的非均衡行为，这一点与二元策略空间博弈中的分离均衡不同。两种类型的工人会分离到两个教育水平，但这保留了无限个非均衡教育水平。同以前一样，我们使用当雇主观察到非均衡教育水平后的最极端信念，即 $\text{Prob}(a=\text{低}\mid s\neq s^*)=1$。均衡为分离均衡 4.2，其中 $s^*\in[\bar{s}, s]$。

$$\text{分离均衡 4.2}\begin{cases} s(\text{低})=0,\ s(\text{高})=s^* \\ w(s^*)=5.5 \\ w(s\neq s^*)=2 \\ \text{Prob}(a=\text{低}\mid s\notin\{0,s^*\})=1 \end{cases}$$

临界值 $\bar{s}$ 能由低能力类型的激励相容约束得到，当 $s^*=\bar{s}$ 时该约束为紧的。

$$U_L(s=0)=2\geqslant U_L(s=\bar{s})=5.5-\frac{8\bar{s}}{2} \tag{11.10}$$

等式（11.10）得到 $\bar{s}=7/8$。任何大于 7/8 的 s^* 也会阻止低能力工人接受教育。如果工资水平 5.5 要求的教育水平太高，高能力工人也会放弃接受教育。他们的激励相容约束要求

$$U_H(s=0)=2\leqslant U_H(s=\bar{\bar{s}})=5.5-\frac{8\bar{\bar{s}}}{5.5} \tag{11.11}$$

等式（11.11）得到 $\bar{\bar{s}}=77/32$。s^* 能取任何低于 77/32 的值，高能力者将愿意接受教育。

与教育Ⅰ显著不同的是，教育Ⅳ有帕累托排序的均衡。如同教育Ⅲ所表明的，混同不只在零教育水平而且在正教育水平出现，并且正教育水平的混同均衡都是帕累托劣的。同时，既然 $s^*=\bar{s}$ 的分离优于 $s^*=\bar{\bar{s}}$ 的分离，分离均衡也是帕累托排序的。使用一个二元策略空间来代替连续策略空间掩盖了该问题。

教育Ⅳ也表明了限制策略空间如何能够改变可能的均衡种类。由于在最大可能的信号 $s=1$ 处，低能力者仍愿意模仿高能力者，因此教育Ⅲ不存在分离均衡。如果策略空间被限制在仅允许低于 7/8 的教育水平，教育Ⅳ也不会有任何分离均衡。使用一个有界的策略空间剔除了可能比较现实的均衡。

这并不是说二元策略集合的模型总是具有误导性的。教育Ⅰ可以恰当地表明信号传递是如何用来分离不同类型代理人的。仅当它用于支持“如果一个分离均衡存在，则它是唯一的”这样的结论时才会具有误导性。如同任何假定一样，我们必须注意不要将模型范围缩减到使得要回答的问题变得没有意义。

11.3 对教育中的信号传递的一般评论

信号传递与类似的现象

在信号传递中，尽管代理人的行动不直接与产出相关，但由于它与能力相关，它仍是有用的。代理人的行动有用这一点构成了信号传递的显著特征。为了使信号起作用，高能力代理人的信号传递成本必须更低。在教育Ⅰ中，当委托人对受教育的工人支付更高的工资时，仅有高能力工人（教育对他们的效用成本更低）愿意接受教育，因此分离能够出现。这也是为什么简单消息不起作用而信号起作用的原因：行动比言语更可信。

表面上看，信号传递类似于逆向选择的其他解决方法。高能力代理人建立声誉的成本低于低能力代理人，但建立声誉的行动直接基于他的高能力。在典型的声誉模型中，他通过每一期都生产高产出来表明能力。同时，声誉的性质要求经过几期来实现，但信号传递不需要这一点。

当一些不由工人控制的可观测变量与能力相关时，另一种形式的传递成为可能。例如，年龄与可信任性相关，所以雇主支付老工人较高的工资，但相关性的出现并不是因为可信任的工人更容易取得年龄的属性。由于年龄不是由工人选择的行动，我们不需要使用博弈论来进行分析。

应用信号传递分析教育的不足之处

在经验的层面上，对教育的信号传递模型要问的第一个问题是：“教育是什么?”在操作层面上，这意味着：“教育用什么单位来测量?”两个可能的回
330 答是“教育年限”与“平均成绩”。如果低能力工人损失一年收入的代价更大，则教育年限可以作为信号。如果为得到全优分数，不太聪明的学生必须付出更多的努力，则平均成绩也可以成为一个信号。

莱亚德与萨卡罗普洛斯（Layard & Psacharopoulos，1974）给出了三条理由来驳斥传递信号是接受教育的重要动因的观点。首先，退学者与取得学位者得到同样高的教育收益率，所以学历不能是信号，尽管教育年限可能是。其次，不同教育水平的工资差异随年龄的增大而提高，但当雇主已多次观测

了工人的产出后，我们应该预期信号的重要性将降低。最后，尽管测试成本低于教育，但它在雇佣中并未得到广泛使用。测试是可能的，但却未被使用：学生通常参加类似于美国 SAT 这样的考试，他们能可信地将结果传递给雇主，并且他们的分数与以后的平均成绩高度相关。我们也会预期雇主偏好于向 18 岁的工人支付 4 年低工资以判断他的能力，而不是等待观察他读历史专业时的各科分数。

生产性的信号传递

即使教育在很大程度上是信号传递，我们或许并不想关闭学校。在混同均衡 3.2 这样的混同均衡中，信号传递或许是浪费性的，但至少有三条理由是说它在分离均衡中可以是次优有效的。第一，它允许雇主使工人与适合他们能力的工作相匹配。如果可获得的工作仅为“教授”和“打字员”两种，则在混同均衡中高能力与低能力的工人均会被雇用，但他们将会被随机分配于两个工作。给定比较优势原则，我自负地认为打字水平或许会提高，而研究则会变差。

第二，信号传递阻止了有天赋的工人转移到能展示他们的天赋但生产率更低的工作。在不存在信号传递的情况下，一个有天赋的工人或许会离开一个企业而创办自己的公司，这样他的生产率将降低但收入会提高。天真的观察者将会观察到公司只雇用一种类型的工人（低能力），因而认为没有福利损失。

第三，如果能力为内生的（道德风险而不是逆向选择），信号传递将鼓励工人获得能力。我的一个老师曾经说，你总是能理解你的倒数第二门计量经济学课程。假定牢固掌握计量经济学提高了一个学生的能力，但 A 的分数并不足以表明他牢固掌握了内容，为了传递他新取得的能力，他必须选修时间序列课程，原因是如果他不牢固理解计量经济学就无法通过这门课程。时间序列本身或许是无用的，但如果它不存在的话，学生将无法表明他已经学过基础计量经济学。

11.4 知情参与人后行动：信息甄别

在信息甄别博弈中，知情参与人后行动，这意味着他的行动是对不知情参与人提供的合同作出反应。由不知情参与人提供合同是很重要的，原因是这时他的合同提供行为并未传递关于他自己的信息，这一点与在信号传递模型中不同。 331

教育Ⅴ：离散信号下的信息甄别

参与人

一个工人与两个雇主。

博弈顺序

(0) 自然选择工人能力 $a\in\{2, 5.5\}$，每种能力的概率为 0.5。工人观测到变量 a，但雇主未观察到。

(1) 每个雇主提供一个工资合同 $w(s)$。

(2) 工人选择教育水平 $s\in\{0, 1\}$。

(3) 工人接受一个合同，或者拒绝所有合同。

(4) 产出等于 a。

支付

$$\pi_{工人}=\begin{cases}w-8s/a，如果工人接受合同 w\\0，如果工人拒绝所有合同\end{cases}$$

$$\pi_{雇主}=\begin{cases}a-w，合同被接受的雇主\\0，其他雇主\end{cases}$$

当一个雇主尝试提供零利润混同合同 $w(0)=3.75$ 时，其余雇主会提供 $w(1)=5.5$ 并吸引走所有高能力者，因此教育Ⅴ中不存在混同均衡。唯一的均衡为

$$分离均衡 5.1\begin{cases}s(低)=0，s(高)=1\\w(0)=2，w(1)=5.5\end{cases}$$

在信息甄别模型中我们不必指定信念。不知情参与人先行动，所以在观察到知情参与人的行动后他的信念与他的行动不相关。知情参与人完全了解信息，所以他的信念不受他所观察到的情况的影响。这与简单逆向选择非常相似，即不知情参与人先行动，提供一个合同集合，然后知情参与人选择一个合同。在信息甄别模型中建模者不必精炼完美性，逆向选择与信息甄别非常类似，因此教育Ⅴ放在第 9 章也是合适的，但由于该模型的背景非常类似于教育的信号传递模型，我们将它放在这里讲述。

教育Ⅵ允许连续的教育水平，其余设定与教育Ⅴ中相同。

教育Ⅵ：连续信号下的信息甄别

参与人

一个工人与两个雇主。

博弈顺序

（0）自然选择工人能力 $a\in\{2, 5.5\}$，每种能力的概率为 0.5。工人观测到变量 a，但雇主未观察到。

（1）每个雇主提供一个工资合同 $w(s)$。

（2）工人选择教育水平 $s\in[0, 1]$。

（3）工人接受一个合同，或者拒绝所有合同。

（4）产出等于 a。

支付

$$\pi_{\text{工人}}=\begin{cases} w-8s/a\text{，如果工人接受合同 } w \\ 0\text{，如果工人拒绝所有合同} \end{cases}$$

$$\pi_{\text{雇主}}=\begin{cases} a-w\text{，合同被接受的雇主} \\ 0\text{，其他雇主} \end{cases}$$

在连续信号下的信息甄别博弈中混同均衡一般不存在，有时纯策略分离均衡也不存在（回想一下 9.4 节中的保险博弈Ⅲ）。但教育Ⅵ确实存在一个有着唯一均衡路径的分离纳什均衡。

$$\text{分离均衡 6.1}\begin{cases} s(\text{低})=0\text{，}s(\text{高})=0.875 \\ w=2\text{，}s<0.875 \\ 5.5\text{，}s\geqslant 0.875 \end{cases}$$

在任何分离合同中，低能力工人必须从零教育水平获得 2 单位的工资，因为这是使能力与工资平衡的最有吸引力的合同。高能力工人的分离合同必须在教育Ⅰ所讨论的约束下最大化他们的效用。当信号为连续时，约束对建模者计算均衡特别有用。对雇主的参与约束要求

$$w(0)\leqslant a_L=2 \text{ 并且 } w(s^*)\leqslant a_H=5.5 \tag{11.12}$$

式中，s^* 为我们试图求解的分离教育水平。竞争使不等式（11.12）变为等式。低能力工人的自选择约束为

$$U_L(s=0)\geqslant U_L(s=s^*) \tag{11.13}$$

它在教育Ⅵ中为

$$w(0)-0\geqslant w(s^*)-\frac{8s^*}{2} \tag{11.14}$$

既然对低能力与高能力工人的分离工资分别为 2 与 5.5，当 $s^*=0.875$ 时约束（11.14）作为等式满足，因此 $s^*=0.875$ 表示分离均衡 6.1 中的临界教育

水平。

$$U_H(s=0)=w(0)\leqslant U_H(s=s^*)=w(s^*)-\frac{8s^*}{5.5} \qquad (11.15)$$

当 $s^*=0.875$ 时不等式（11.15）成立，同时对更高的 s^* 值它也成立。但与连续策略信号传递博弈（教育Ⅳ）不同，由于雇主争相提供满足参与约束与激励相容约束的最有吸引力的合同，教育Ⅵ中的均衡合同是唯一的。要求较 $s^*=0.875$ 低的分离信号的分离合同帕累托优于其他分离合同，因此它是最有吸引力的。

类似地，提供有吸引力合同的竞争排除了混同合同。由雇主之间竞争所要求的非混同约束为

$$U_H(s=s^*)\geqslant U_H(\text{混同}) \qquad (11.16)$$

使用可能的最有吸引力的混同合同，上式在教育Ⅵ中为

$$w(s^*)-\frac{8s^*}{5.5}\geqslant 3.75 \qquad (11.17)$$

既然在分离合同中高能力者的支付为 $4.23(=5.5-8\times 0.875/5.5$，取近似值)，非混同约束得以满足。

在教育Ⅵ中不存在混同均衡

在教育Ⅵ中混同均衡要求结果 $\{s=0,\ w(0)=3.75\}$，如图 11—1 中的 C_1 所示，此博弈中不存在这样的混同均衡。如果一个雇主提供一个要求正教育水平的混同合同（例如无效的混同均衡 3.2），另一个雇主会提供相同工资但要求零教育的更有吸引力的合同。保证零利润的工资为 3.75。工资函数的其余部分（正教育水平的工资）可以展示许多形状，但工资不能随教育上升得过快，以保证高能力者不被引诱去接受教育。

但不存在满足这些特征的均衡。在纳什均衡中没有雇主会提供一个混同合同，原因是通过对受教育工人提供一个支付更高工资的分离合同，另一个雇主总是有利可图的。一个这样的合同为图 11—1 中的 C_2，它对教育水平 $s=0.5$ 的工人支付 5 单位，并对高能力与低能力工人分别支付 $4.89(=5-(8\times 0.5)/5.5$，取近似值)与 $3(=5-8\times 0.5/2)$。混同合同 C_1 对高能力与低能力工人均产生 3.75 的支付，因此仅有高能力工人偏好于 C_2。如果仅有高能力工人接受 C_2，雇主将得到正利润。

334 在策略空间不连续的信息甄别模型中，混同均衡的不存在性是一个一般的结果。教育Ⅵ中的线性曲线是一个特例，但在任何信息甄别模型中低能力

工人都会有更大的教育成本，这等价于更陡的无差异曲线。这是在教育Ⅰ中提到过的**单交点性质**（single-crossing property）。同 C_1 一样，任何混同均衡必须位于教育为 0 的纵轴上，同时工资应等于平均能力。像 C_2 这样的分离合同总可以在混同合同东北部、两种类型无差异曲线之间找到，同时通过仅吸引高能力工人，它会产生正利润。

教育Ⅶ：信息甄别博弈中不存在纯策略纳什均衡

在教育Ⅵ中我们说明信息甄别模型不存在混同均衡。在教育Ⅶ中，通过对参数稍加改变，我们甚至可以消除纯策略的分离均衡。令高能力的比例由 0.5 变为 0.9，所以零利润混同工资由 3.75 变为 5.15(=0.9×5.5+0.1×2)。现在考虑图 11—2 中的分离合同 C_3 与 C_4，它们的计算方法与分离均衡 5.1 中相同。组合（C_3，C_4）是将高能力与低能力分离的最有吸引力的合同组合。低能力工人接受合同 C_3，取得 $s=0$，并得到等于他能力的工资 2。高能力工人接受合同 C_4，取得 $s=0.875$，并得到等于他能力的工资 5.5。低能力工人假装高能力的支付为 2(=5.5−8×0.875/2)，这不高于他从 C_3 得到的支付 2(=2−8×0/2)，因此教育对低能力工人没有吸引力。

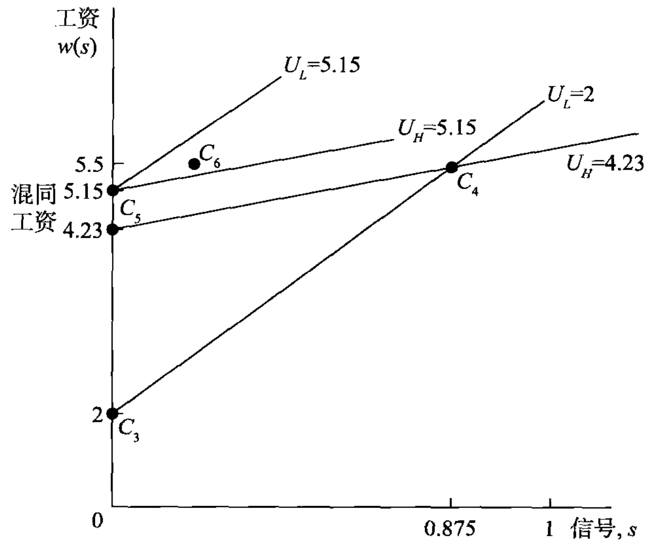


图 11—2　教育Ⅶ：在甄别博弈中不存在分离和混同纯策略均衡

混同合同 C_5 的工资为 5.15，即使高能力工人对 C_5 也严格偏好于（C_3，C_4）。但我们对不存在混同均衡的理由仍是有效的；某个合同 C_6 会将所有高能力者吸引偏离 C_5。不存在纯策略纳什均衡（包括分离均衡与混同均衡）。

建模者应该担心多重均衡或者纯策略均衡的不存在性吗？

335 为什么建模者应该像信号传递模型中那样更加担心纯策略均衡的不存在性是没有理由的。回到第 3 章，我们考虑的博弈仅有的现实的均衡是混合策略的。在那一章，同样在第 1 章和第 6 章（不完全信息的动态博弈）中，我们讨论了多重均衡以及为什么我们不应该过度担心它们——在纳什均衡的逻辑下主要的原因是，它是可以自我实现的期望，我们确实应该预期不同的期望会产生不同的结果。

在协调模型和信号传递模型中，多重均衡已经在经济学家中间引起了最大的焦虑。对于协调模型，已经有希望用廉价交谈和焦点来将我们的预测限制在单一产出上。对于信号传递模型，已经提出了在第 6 章讨论的各种精炼，但是没有被广泛接受。然而，对于协调模型和信号传递模型，还有另一种方法：改变行动顺序。在信号传递博弈中，如果行动不是同时的或者行动不是知情的参与人发出的而是首先行动的不知情的参与人发出的，结果就非常类似于唯一确定的和有效的。因为结果非常类似于有效的，它将通常是下列情形：参与人愿意按顺序行动或者进展过程将会导致经常观测到的这样一个博弈。

如果委托人对特殊的信号水平提供奖励（信息甄别模型而不是信号传递模型），考虑将发生什么？因为不知情的参与人不会提供合同，所以简单的变化将会剔除帕累托最优合同。

作为一个特殊的例子，假设工作候选人在面试之前能很用心地研究雇主，而这将作为一种信号，因为不认真的申请者将不愿意付出那样的努力。

一种可能性是，混同均衡即好的和坏的申请者通过研究传递信号。如果申请者不愿意被认为是一个坏的类型，那么由于这种担心，均衡将继续存在。因为最终雇主没有得到任何信息，所以这是无效的。

因此，雇主愿意转到信息甄别博弈中来。因为他知道研究不是一个好的信号，所以他对申请者说他们不用研究公司。相应地，任何类型的申请者都不再研究公司。公司就会通过减少它提供的工资和从一些更少的研究中获得的社会储蓄中获利。（生日聚会“没有礼物”的法则是另一个例子。）

然而，注意仅仅因为你观测到了所有申请者的研究（一个表面上的混同均衡），它可能不是均衡是混同的例子。它可能是分析人员的数据有自选择问题：给定研究对于有机会获得该工作是必要条件，只有好的类型实施——并且他们都研究它。在作出一项有成本的信号不能分离不同类型的结论时一定要小心。

第二个相关的无效均衡是，均衡是分离均衡但信号是高度无效的。在均衡中，工作申请者必须能够列举出四位前公司总裁的名单，但是要求两位总裁的名单就能将好的申请者从坏的中分离出来。相对的，在面试之前公司可能说申请者只需要知道公司过去五年的历史即可，并且在申请者看来拥有过多的知识是一种走投无路的迹象。 336

第三，不同类型的均衡是没有信号发生的混同均衡：申请者认为雇主不会由于他们拥有关于公司历史的知识而留有印象，并且雇主对他们没有印象是因为只有愚蠢的申请者才会费力去研究它。这样一个均衡是无效的。也有可能是信号的成本不等价于分离中得到的有效收益。但它可能是无效的：雇用最热心的申请者得到的收益可能值得投入成本，热心的申请者会坚持 10 个小时来研究一家会计公司的历史，但这对增加他获得这份工作的机会几乎没有帮助。如果这样的话，雇主可能通过宣布部分根据申请者对公司历史的知识对其进行评级来摆脱无效的混同均衡。但这样的混同均衡太脆弱而不能幸存。

第四种均衡是无效分离均衡——这个均衡中信号会发生，并且能将好的申请者从坏的中分离出来，但是申请者的成本不等价于社会收益。好的申请者可能有收益，但坏的可能损失更多，因为收益是得到工作的人的一个纯转移，完成这个需要成本——研究成本。

这种无效的分离均衡比其他三种无效均衡更强。理由是如果雇主偏离并宣布不再对申请者拥有的关于公司历史的知识打分，那结果会很简单——他们将更多地吸引低能力申请者，高能力申请者会放弃他们，转向那些要求研究信号的雇主。然而，如果只有一个雇主，那么他可以贯彻这一政策。这可以将信号传递博弈变为信息甄别博弈，宣布将工资减少为申请者的保留水平，但在面试中依然忽略公司历史的知识。这就是买者垄断的一个有趣的有效优势。

因此，很多时候，即使不总是这样，信号传递博弈中行动的时间是可变通的，这使得很多博弈参与人可以选择行动的顺序，从而参与人选择转变行动顺序为信号甄别博弈。最后，这通常会剔除所有而只保留一个均衡产出，并且保留的产出通常是有效的，或者至少是帕累托最优的。

教育模型概要

因为信号传递模型的复杂性，本章大部分内容都在详细阐述教育模型。我们以教育Ⅰ开始，它说明在两种类型和两种信号水平下完美贝叶斯均衡是如何得到分离均衡和混同均衡的。教育Ⅱ采用相同的模型并用自然的附加行动来替代非均衡信念规定，教育Ⅲ改变了教育Ⅰ中的参数来增加类型之间的

差异并证明信号关于混同是如何连续的。教育Ⅳ通过允许其连续改变了教育Ⅰ中的教育水平，这导致了有不同信号水平的无效均衡的连续。在纯口头讨论了怎样应用信号传递模型后，我们考虑了雇主首先行动的信号甄别模型。教育Ⅴ是从信号甄别角度重新考虑教育Ⅰ，同时教育Ⅵ拓宽了此模型，允许连续的信号，这剔除了混同均衡。教育Ⅶ修改了教育Ⅵ的参数，证明有时不存在纯策略的纳什均衡。

337 贯穿的潜在假设是，所有的参与人都是风险中性的。因为在模型中不存在不确定性和代理人不承担风险，所以风险中性是不重要的。如果工人是风险规避的并且风险规避程度不同，因为接受风险的意愿可能扮演信号的角色，所以就要尝试使用差异合同来支持分离均衡。如果委托人是风险规避的，他可能提供比混同均衡中平均生产较少的工资，但因为在分离均衡中这些是完全揭示的，所以他在分离均衡中没有风险。这些模型都是确定性博弈，这也不重要。如果产出是不确定的，代理人会使用期望支付来替代原始支付，而这几乎没有带来变化。

传递的方式

到目前为止，我们已经看到许多种一个参与人向另一个参与人传递信息的方式。延续第 10 章中的克劳福德-索贝尔模型，我们称这些参与人为发送者和接收者。为什么接收者会相信发送者的信息？理由如下：

1. **廉价交谈博弈**：发送者的信息是无成本的并且对说谎没有惩罚。

在廉价交谈博弈中，信息对支付函数没有直接影响。如果接收者忽略信息，发送者的支付也不会受到信息的影响。虽然如果接收者相应地改变他的行动，这个行动可能影响到发送者。通常这会是协调博弈，在协调博弈中发送者对于接收者适应信息而选择行动的偏好与接收者的偏好相同，或者至少要相协调。第 10 章中的克劳福德-索贝尔模型是非完美协调的例子，模型中廉价交谈会导致一些信息已经交换，即使信息是不精确的并且发送者不能准确传递他知道的事情。

2. **事实宣布博弈**：发送者可能保持沉默而不是发送信息，但是如果他发送信息，那一定是事实。信息可能有也可能没有成本。

在这些模型中，发送者的类型通常是既有好的也有坏的，因为沉默预示着坏消息，所以在第 10 章的例子中它们被“拆开”。正如在那一章所讨论的，因为大量的理由例如一些外生给定的发送者事实上不能发送真实信息的概率，“拆开”可能是有偏见的。一种变体就是当发送者已经提交了事实，或许通过一种与接收者协商的机制，可以将廉价交谈模型变为事实宣布模型。

3. **审查博弈**：接收者以一定的成本审核信息，并且如果发送者说谎，就会被发现。发送者的信息可能有也可能没有成本。

我们已经在第 3 章看到了承诺审查的例子。一个变体是当接收者不能承诺审查时，就会有混合策略均衡，即发送者有时发送事实有时不会，接收者有时审查有时不审查。在 Rasmusen（1993）的一个例子中，发送者是说客或者是抗议者，他们有成本地向接收者（政府办公人员）发送信息。如果接收者审查并发现信息是谎话，那么成本就浪费了，即使在事实宣布博弈中发现谎话时没有附加惩罚。

4. **机制博弈**：发送者的信息可能有也可能没有成本。在发送之前，发送者会与接收者签订合同，在合同中他们的决定是基于他们可以观测到的事物，并且强制执行是基于法庭可以审核的事物。

机制是第 10 章的主题。承诺是关键。如果在发送者收到他私人信息之前 338
选择了机制，机制依最简单的方式设计出来。因为不然的话，机制选择本身会传递信息。

5. **信号传递博弈**：当发送者说谎时，他的信息是有成本的，他说谎时的信息成本要高于他说实话时的成本。在接收者采取任何行动之前他先发送信息。

信号传递是这一章（第 11 章）的重要主题。在这些模型中发送者的类型通常是既有好的也有坏的。单交点性质是至关重要的——如果发送者的类型更好，那么发送信息相对于他的类型为好时的成本就更便宜。发送者发送事实信息可能是无成本的（或者甚至负成本的），因为在事实信息和错误信息之间成本是有差异的。通常在这些模型中信息不是直接的，通过诸如教育年限等看似与传递不直接相关的这些行动的选择来传递。

6. **昂贵交谈博弈**：发送者的信息是有成本的，但成本是相同的，与他的类型无关。对于说谎没有惩罚。

昂贵交谈和信号传递之间的差别是，在昂贵交谈中不满足单交点性质。如果高能力的发送者比低能力的发送者对接收者去采取高的反应有更高的期望，类似于廉价交谈模型中的理由，事实传递依然起作用。第 6 章中的博士录取博弈就是一个例子。讨厌经济学的学生没有激励去花钱申请博士项目。像在廉价交谈和信号传递中一样，因为多重均衡而使期望变得至关重要。

7. **信号甄别博弈**：当发送者说谎时，信息是有成本的，他说谎时的成本要高于他说实话时的成本。为了对接收人提供的合同作出反应，他发送信息。

我们在第 11 章中已经讨论了信号甄别模型，如果接收者可以实现他对信号的承诺，这就是机制博弈。如果他不能发出承诺，就是一个昂贵交谈博弈，

即接收人的合同是均衡的一部分，在均衡中发送人的合同影响接收人对发送人将会怎样做的期望。

在本章接下来的部分，我们将考虑关于信号传递的更多特殊的模型。

*11.5 两个信号：新股低价发行博弈

当代理人希望向委托人传递两个特征时，一个信号或许不足以完成该任务。恩格尔斯（Engers，1987）对此进行了一般化的分析。多信号模型在金融经济学中特别流行，例如休斯（Hughes，1986）的多信号模型用来研究投资银行家们在新股发行中的角色。我们将使用一个股票首次公开发行模型作为本节中的例子。

从经验的角度，人们发现公司一般以低价发行股票，从而股票价格在发行后迅速上升，这种异常收益的估计值平均为 11.4%（Copeland & Weston，1988，p. 377）。新股低价发行博弈试图使用最初所有者保留股票的百分比与低价发行的程度作为两个信号来解释以上现象。要传递的两个特征是新股的期望以及方差。潜在购买者关心的期望容易理解，我们将在后面解释方差的重要性。

新股低价发行博弈（Grinblatt & Hwang，1989）

339 **参与人**

企业家与众多投资者。

博弈顺序

（时间线参见图 2—3（a）。）

（0）自然使用某个分布 F 来选择企业每股股票的期望（μ）与方差（σ^2）。

（1）企业家保留 α 比例的股票，并以每股 p_0 的价格出售其余股票。

（2）投资者决定接受或拒绝购买。

（3）市场价格变为 p_1，它是投资者对 μ 的估计值。

（4）自然使用某个分布 G 来选择每股价值 V，使得 V 的期望为 μ 并且方差为 σ^2。V 以概率 θ 显示给投资者并变为市场价格。

（5）企业家以市场价格出售他余下的份额。

支付

$$\pi_{企业家}=U([1-\alpha]p_0+\alpha[\theta V+(1-\theta)p_1]),\ U'>0,\ U''<0$$

$$\pi_{投资者}=(1-\alpha)(V-p_0)+\alpha(1-\theta)(V-p_1)$$

企业家的支付是以价格 p_0 发行的股票价值加上后来以价格 p_1 或 V 出售的股票价值的效用。投资者的支付是他们购买股份的真实价值减去他们支付的价格。

新股低价发行博弈包含利兰与派尔（Leland & Pyle，1977）的较简单的模型，在后者中 σ^2 为共同知识，并且如果企业家选择保留很大比例的股份，则投资者推断出股票价值将很高。在该模型中一个信号就可以完成充分显示的任务，原因是持有更高份额的股票使非多样化的企业家承受了更大数量的风险，企业家愿意接受这些风险本身就说明了股票价值大于投资者在没有信号时的猜测。

如果项目方差较高也会增加非多样化企业家的风险，这一点即使在投资者为风险中性并且不直接关心 σ^2 值时也很重要。既然当方差高时风险更大，信号 α 将更有效。保留较小比例的高方差企业可以与保留较大比例的低方差企业使用相同的价格出售余下的份额。即使投资者是多样化的并且不直接关心企业的特定风险，但由于方差提供了作为股票价值的信号的企业家保留份额的有效性的信息，投资者仍会对方差感兴趣。图 11—3 表明了两种方差水 340
平的信号传递曲线。

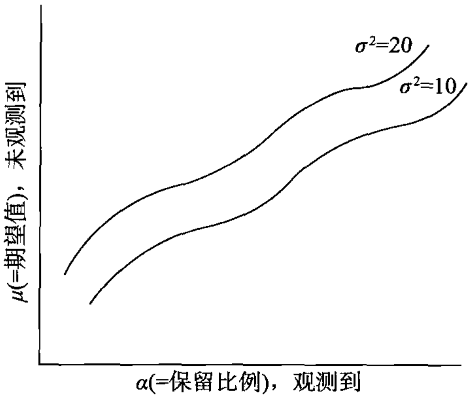


图 11—3　信号如何随方差变化

在新股低价发行博弈中，σ^2 对投资者来讲是不知道的，所以信号不再是充分显示的。$\alpha=0.1$ 可以意味着企业拥有与低方差相伴的低价值，也可以意味着与高方差相伴的高价值。但企业家可以使用股票发行价格作为第二个信号，这样通过观察 α 与 p_0，投资者可以推断出 μ 与 σ^2。

我将使用特定的数字来具体说明。企业家可以通过两种方式来表明股票拥有高期望值 $\mu=120$：(a) 保留一个高百分比 $\alpha=0.4$，并以高价 $p_0=90$ 来进行首次公开发行；(b) 保留一个低百分比 $\alpha=0.1$，并以低价 $p_0=80$ 来进

行首次公开发行。图 11—4 给出了可能使用的初始价格与保留比例的不同组合。如果股票有高方差，他将会选择行为（b），这将降低他的风险。投资者推断出，任何保留低百分比并提供低价的企业家的股票拥有高方差以及 $\mu=120$，因此以价格 80 提供的股票价格会上升。另一方面，如果企业家保留 $\alpha=$
341 0.1 并提供高价 $p_0=90$，投资者的结论是：μ 低于 120，但方差也将较低，所以股票价格不会上升。低价格传递的信息是该种股票拥有高期望与高方差而不是低期望与低方差。

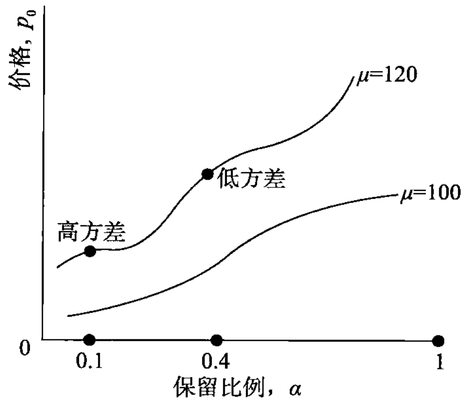


图 11—4　传递给定信号的不同方式

该模型解释了为什么新股以低价发行。企业家知道价格将会上升，但仅当股票以低价发行来表明方差较高时这一点才能实现。价格折扣表明通过持有较大比例股票进行信号传递的成本异常高昂，但他仍愿意进行传递。折扣存在成本的原因是，他以低于真实值出售股票，保留股票存在成本的原因是他承担了额外风险，但二者对传递股票有价值的事实均为必需的。

*11.6　信号干扰和极限定价

本章研究了许多模型，在这些模型中，知情参与人通过一些途径或者是进入激励合同或者是信号传递尝试来向不知情参与人传递信息。然而，有时候知情方会遇到相反的问题：他的真实行为会传递他的私人信息，但是他希望保守秘密。例如，如果一家公司关于它没有能力来成功竞争这个事实是知情的，但它希望对对手掩盖这个信息，上述情形就会发生。正如信号传递中一样，知情参与人会参与有成本的行动，但此时有成本的行动是**信号干扰**（signal jamming）（弗登伯格和梯若尔（Fudenberg & Tirole，1986c）创造的术语）：阻止信息出现而不是产生信息。

极限定价与用来阻止进入而保持低价格有关。极限定价可以用许多方式来解释；很明显，在位者使用这种方式来传递这样的信号，即他的成本足够低，会使竞争者后悔进入，同问题 6.2 以及米尔格罗姆和罗伯特的论述(Milgrom & Robert，1986a) 相同。这里对极限定价的解释是信号干扰：通过保持低利润，在位者使竞争者不清楚市场是否足够大到适合两家盈利的公司。在先前的版本中，我使用了拉斯穆森 (Rasmusen，1997) 中的一个模型来举例说明，但是在这个版本中，我准备使用一个更加简单的模型，这个模型仍然可以传递信号干扰的观点。这个市场是等于保留价格的无弹性的需求的市场。进入会在公司间平均分享无弹性数量，价格会下降。至关重要的是，进入之前进入者不知道保留价格，因此也就不知道在进入之后价格会有多大程度的下降。在位者可能发现也可能没有发现保持他的低价格来阻止进入者探得保留价格的信息是值得的。

在位者需要牺牲第一期的高价格来阻止诱导进入的可能性。跟通常一样，我们从最后开始考虑。

在位者 p_{2m}的选择是很容易的：因为没有未来进入的威胁，选择 $p_{2m}=v$。

进入者的进入的期望支付依赖于他关于 v 的信念，即反过来依赖于该博弈中多重均衡的哪一个保留价格正在被剔除。

有信号干扰的极限定价

342

参与人

在位者和竞争者。

博弈顺序

(0) 自然使用 $[c, d]$ 上的连续密度函数 $h(v)$ 来选择保留价格 v。只有在位者可以观测到。(参数 c 是边际成本。)

(1) 在位者选择一阶段价格 p_1，如果 $p_1\leqslant v$ 会产生 q 的销售，其他情况销售为 0。变量 p_1 和 q 两个参与人都可以观测到。

(2) 竞争者决定是否以成本 F 进入或者不进入。

(3) 如果竞争者不进入，在位者选择二阶段价格 p_{2m}，如果 $p_{2m}\leqslant v$ 会产生 q 的销售，其他情况销售为 0。

(4) 如果竞争者进入，双卖家垄断价格是 $p_2(v)$，其中 $p_2\geqslant c$ 和 $dp_2/dv>0$。

我们再作一些明确规定来避免后面出现误解警告。假设双卖家垄断价格位于边际价格和垄断价格中间，所以

$$p_2(v)=\frac{c+v}{2} \tag{11.18}$$

保留价格的分布是均匀的，所以

$$h(v)=\frac{1}{d-c} \tag{11.19}$$

令 $c=0$ 和 $d>6.4F/q$。我们将使用这些特定假设得到我们的期望。

支付

假如竞争者不进入且 p_1 和 p_{2m} 都小于等于 v，支付是

$$\begin{aligned}\pi_{\text{在位者}}&=(p_1-c)q+(p_2-c)q\\ \pi_{\text{竞争者}}&=0\end{aligned} \tag{11.20}$$

如果竞争者进入且 p_1 小于等于 v，支付是

$$\begin{aligned}\pi_{\text{在位者}}&=(p_1-c)q+(p_2(v)-c)\left(\frac{q}{2}\right)\\ \pi_{\text{竞争者}}&=-F+(p_2(v)-c)\left(\frac{q}{2}\right)\end{aligned} \tag{11.21}$$

343 如果在位者是无策略的，那他收取 $p_1=v$ 来最大化第一期的利润。如果 p_1 超过临界值 $v^*=c+2F/q$，竞争者会推测出价值 v 并在第二期进入，并且因为

$$-F+\left[\left(c+\frac{2F}{q}-c\right)\left(\frac{q}{2}\right)\right]=0 \tag{11.22}$$

所以，临界值会导出零利润。虽然如果在位者愿意收取低价格 p_1 并接受较低的第一期利润（他可以阻止进入），并且如果他可以这样做，较高的第二期利润会不仅只是弥补他的损失。因此，无策略行为不是这个博弈的均衡。考虑下面的策略组合。

极限定价均衡

在位者：$p_2=v$。特殊值 a 和 b 在随后规定。

$$p_1=\begin{cases}v, & v<a\\ a, & v\in[a, b]\\ v, & v>b\end{cases}$$

竞争者：如果 $p_1>a$ 进入，其他情况不进入。如果竞争者观察到 $p_1\in(a,$

$b]$，他的非均衡信念是 $v=h(v)/\int_{p_1}^{b}h(v)\mathrm{d}v$，即 v 是在 p_1 和 b 之间时的期望值。

如果竞争者进入，那么他的均衡支付是

$$\begin{aligned}\pi_{竞争者,进入} &=-F+(Ep_2(v)-c)\left(\frac{q}{2}\right)\\ &=-F+\left[\int_a^b p_2(v)\left[\frac{h(v)}{\int_a^b h(v)\mathrm{d}v}\right]\mathrm{d}v-c\right]\left(\frac{q}{2}\right)\end{aligned} \tag{11.23}$$

其中，期望 $Ep_2(v)$ 的密度是 $h(v)/\int_a^b h(v)\mathrm{d}v$，替代了 $h(v)$，因为它的条件是：v 位于 a 和 b 之间，而不是 v 可以取可能的任何值。均衡时（11.23）式中的支付等于 0，从而使进入—阻止值为 a 和 b。如果在位者阻止进入，他的支付是

$$\pi_{在位者}(不进入)=(p_1-c)q+(v-c)q \tag{11.24}$$

如果他不阻止进入，他的支付是

$$\pi_{在位者}(进入)=(v-c)q+(p_2(v)-c)\left(\frac{q}{2}\right) \tag{11.25}$$

极限定价中在位者的优势是两者的差，当 $p_1=a$ 时，则为

$$[(a-c)q+(v-c)q]-\left[(v-c)q+(p_2(v)-c)\left(\frac{q}{2}\right)\right] \tag{11.26}$$

这个优势关于 v 是递减的，b 定义为使上式等于 0 的值。在（11.26）式中选择 $v=b$，令该式等于 0，并求解 a，得到

$$a=\frac{c+p_2(b)}{2} \tag{11.27}$$

现在我们对两个未知量（a 和 b）有两个等式（方程（11.27）和使用表达式（11.23）得到的 $\pi_{竞争者}=0$）。现在让我们重新回到方程（11.18）和（11.19）的特定假设。给定我们关于 $h(v)$ 和 $p_2(b)$ 的特定假设，$p_2(b)=b/2$，$h(v)=1/d$，由（11.27）式可得 344

$$a=\frac{b}{4} \tag{11.28}$$

因为 $\int_a^b h(v)\mathrm{d}v=\int_a^b(1/d)\mathrm{d}v=(b/d)-(a/d)$，

$$
\begin{aligned}
\pi_{\text{竞争者}} &= -F + \left(\int_a^b \left(\frac{v}{2}\right)\left(\frac{1/d}{(b/d)-(a/d)}\right)\mathrm{d}v\right)\left(\frac{q}{2}\right) \\
&= -F + \Big|_{v=a}^{b}\left(\frac{v^2}{4(b-a)}\right)\left(\frac{q}{2}\right) \\
&= -F + \left(\frac{b^2}{4(b-a)} - \frac{a^2}{4(b-a)}\right)\left(\frac{q}{2}\right) \\
&= -F + \left(b^2 - \frac{b^2}{16}\right)\left(\frac{q}{8(b-(b/4))}\right)
\end{aligned}
\tag{11.29}
$$

所以

$$b = \left(\frac{16}{5}\right)\left(\frac{2F}{q}\right) \tag{11.30}$$

其中 $b<d$，因为我们专门假设 $d>6.4F/q$。由方程（11.28）可得

$$a = \left(\frac{4}{5}\right)\left(\frac{2F}{q}\right) \tag{11.31}$$

将极限 a 和 b 与 v^* 相比是很有用处的，v^* 是进入时竞争者得到零支付的 v 值。使用上面的方程（11.22），我们可以得到值为

$$v^* = \frac{2F}{q} \tag{11.32}$$

所以 $a<v^*<b$。这是有意义的。事实上，a 和 b 的值的选择使得 v^* 是 $[a, b]$ 上 v 的期望值，并且即使竞争者不知道 v 的确切值，他也会被阻挡在外。如果 $a \geqslant v^*$，v 在 $[a, b]$ 上的期望值大于 v^*，如果在位者收取 $p_1=a$，竞争者在进入时会感觉很安全。所以，如果双卖家垄断市场对竞争者产生零利润，为了使用极限价格，在位者必须收取严格小于垄断价格的价格。因为当且仅当 v 小于 a 或者大于 b 时，竞争者才能知道 v 的准确价格，这种信号干扰减少了影响竞争者相比于无策略行为时的信息。

然而，注意如果这是事实宣布博弈，极限定价不会起作用，在事实宣布博弈中，在位者会保持沉默而不是对竞争者说谎。无论 v 是 v^* 还是更小，在
345 位者都会告诉竞争者 v 的值，这意味着在区间 $[v^*, b]$ 上的 v 值极限价格不再有效。

*11.7 反信号传递

费尔托维科、哈博和多（Feltovich，Harbaugh & To，2002）构建了一个模型来说明经常观察到的一种情形：尽管市场中最坏的类型不会传递信号，

但最好的类型也不传递信号，并且他们极度缺乏信号传递是他们对高质量满怀信心的表现（**反信号传递**（countersignalling））。这种情形下至关重要的是，最高质量类型除了有成本的信号传递外，还有其他方式来向市场传递他们的质量。下面我们将使用银行模型来举例说明。

反信号传递

参与人。

银行和存款人。

博弈顺序

（0）有一个长度为 1 的银行的连续统（continuum），自然使用累计分布 $F(\theta)$ 来选择每家银行的偿付能力 θ_i，$F(\theta)$ 在 $[-10, 10]$ 上并且 $F(0)=0.2$。

（1）银行 i 选择在它的建筑上花费 s_i，其中他至少要花费 $\bar{s}=9$ 来完全运营，否则就会退出。

（2）在长度 $D=1$ 的连续统上的存款者观察到 $\hat{\theta}=\theta_i+u_i$，其中他可以独立地选择 u_i 值并且等概率地取得 -5，0 和 $+5$。银行在第（1）步观测不到 $\hat{\theta}$。

（3）每位存款者选择一家银行。

支付

银行越不会无力偿还，它就越能成本更低地接近存款者，所以银行 i 吸引了像其他活跃的银行一样多的存款者，它的支付是

$$\pi_i=\frac{D}{B}-\left(\frac{s_i}{10+\theta_i}\right) \tag{11.33}$$

式中，B 为吸引存款者的银行的区间。如果银行 i 没有吸引到存款者，它的支付是 $-(s_i/(10+\theta_i))$。

如果存款者选择偿付能力 θ 大于 0 的银行，那么他的支付是 1；如果 $\theta<0$，那么他的支付是 0。

均　衡

偿付能力为 $\theta\in[-10, 0]$ 的银行选择 $s=0$。它们不会进行信号传递，并且吸引不到存款者。

偿付能力为 $\theta\in[0, 5)$ 的银行选择 $s=s^*=12.5$ 并且吸引到存款者。 346

偿付能力为 $\theta\in[5, 10]$ 的银行选择 $s=9$ 并且吸引到存款者。

存款者选择的银行或者 $\hat{\theta}\geqslant 0$ 或者 $s=12.5$ 或者两者都具有。他们认为除了 12.5 传递了关于银行偿付能力的信息外，其他都没有信息传递（消极推测）。

每家银行有三个合理的选择：$s=0$，$s=9$ 和 $s=12.5$。在均衡中，因为有偿付能力的银行并且只有这些银行进来，所以 $B=1-F(0)=0.8$。

$\theta>5$ 的银行不用担心会出现不能偿付的情况，因为它的最低可能观测到的偿付能力是 $\hat{\theta}=\theta-5\geqslant 0$。在区间 $[5, 10]$ 上的银行不用花费超过必要的 $s=9$ 来进入，因为总之它们吸引了所有的存款者。因为这些银行中利润最低的也会有支付 $D/B-(9/(10+5))=11/12>0$，所以它们会花费 $s=9$ 来进入。

$\theta\in[0, 5)$ 的银行就不那么幸运了，并且有 $u=-5$ 和 $\hat{\theta}<0$，所以信号传递是有用的。自选择约束要求 $\theta<0$ 的银行不传递信号。因此，关键信号水平 s^* 要求不能偿付的银行因为信号是最劣的而不愿意进行信号传递。我们需要 $\pi_{\theta=0}(s=0)=\pi_{\theta=0}(s=s^*)$，所以

$$0=\frac{D}{B}-\left(\frac{s^*}{10+0}\right) \tag{11.34}$$

关于 s^* 求解方程（11.34）并设 $B=0.8$ 和 $D=1$，得到

$$s^*=12.5 \tag{11.35}$$

另外，$\theta\in[0, 5)$ 的银行可能以 $s=9$ 进入并且希望 $u=0$ 和 $u=+5$ 而不是 $u=-5$，这种情况的概率是 2/3，所以在这种情况下因为信号传递成本最高，则那个区间的银行的支付是负的。

$$\pi(s=K|\theta=0)=\left(\frac{2}{3}\right)\left(\frac{D}{B}\right)-\left(\frac{9}{10+0}\right)=\frac{5}{6}-\left(\frac{9}{10}\right)<0 \tag{11.36}$$

$\theta\in[-10, 0)$ 的银行选择 $s=0$ 且均衡时有零支付，但它们仍可以选择以 $s=12.5$ 或 $s=9$ 进入并且希望 $u=+5$ 和 $\hat{\theta}\geqslant 0$。这种策略下的期望支付是

$$\pi(s=K|\theta<0)<\left(\frac{1}{3}\right)\left(\frac{D}{B}\right)-\left(\frac{9}{10+0}\right)=\frac{5}{12}-\left(\frac{9}{10}\right)<0 \tag{11.37}$$

和

$$\pi(s=s^*|\theta<0)<\left(\frac{D}{B}\right)-\left(\frac{12.5}{10+0}\right)=\frac{5}{4}-\left(\frac{12.5}{10}\right)=0 \tag{11.38}$$

同往常一样，存在非信号传递完美贝叶斯均衡，在这个均衡中，存款者

忽视任何信号且只选择 $\hat{\theta} \geqslant 5$ 的银行。并且存在其他无效的关键信号水平是 $s^* > 10D/(1-F(0))$ 的均衡。你也可以研究如果消费者的数字 D 取不等于 1 的其他值时会出现什么情况。 *347*

这个模型中区别于前面模型的最有趣的地方是，传递信号的不是最高质量的参与人而是中间质量的参与人。因为他们的质量如此之高，以至于关于他的信息可以通过不同的方式来影响市场——在这里是非完美观测 $\hat{\theta}$，所以最高质量的参与人没有必要传递信号。"反信号传递"就是指最高质量的参与人不再传递信息。引发其出现的反信号传递模型中至关重要的特征是，信号传递不再是信息影响市场的唯一方式。

在反信号传递模型中出现的另一个影响是（尽管它不在这里的简单模型中），信号的缺失对不知情参与人对于知情参与人的质量的估计有正的、附加的影响。在我们的银行博弈中，上述情况不会出现，因为如果噪声观测是 $\hat{\theta} \geqslant 5$，存款者有关于银行安全性的最高的评价：银行以概率 1 有偿付能力。所以，高质量的银行会放弃信号传递仅仅是为了节省资金，而不是因为反信号传递发挥了作用。但是假设我们加入一些新的存款者到模型中来，这个数量小到度量为零而不会影响到均衡，这些新的存款者有下列特殊特征：（1）他们观测不到 $\hat{\theta}$，和（2）无论对不能偿付的银行还是 $\theta<7$ 的银行，他们的支付都是 0。这些存款者只能观测到一些银行是 $s=4$ 和一些是 $s=s^*$。既然他们致力于寻找高质量的银行，他们实际上偏爱选择 $s=4$ 的低信号传递值的银行，因为他们确信如果 $s=s^*$，那么 $\theta<7$。因此，高质量银行只在一座小楼里办公就是反信号传递，这表明这家银行有很高的质量，使得它不需要再去夸耀。

反信号传递的信息的作用促发了费尔托维科、哈博和多（Feltovich, Harbaugh & To，2002）文章的题目：《对学校来说太酷？信号传递和反信号传递》（"Too Cool for School? Signalling and Countersignalling"）。低质量的高中学生可能在他们的作业上表现很糟，因为表现好是一个太具成本的信号。中层质量的学生为了把他们同低质量的学生区分开来可能做得更好。但作为反信号传递的一种形式，高质量学生在作业方面可能表现也很糟。高质量的、可观测的指示器已经证明他们是高质量的（"酷"），所以他们不需要信号传递。但因为很好做作业的学生被认为是中层质量的学生而不是高质量学生，他们可能会隐瞒他们的作业，即使他们实际上也偏好做好。在这种情形下，反信号传递实际上是有成本的——学生仅仅为了策略的理由而放弃作业。这不是完全的信号干扰，因为高质量的学生尝试避开混同而不是寻找它。但它具有了信号干扰的可观测变量的有成本掩饰的思想。

术语“反信号传递”是一个新词汇，但是越多类型可能有越少信号传递的思想可以追溯到亚当·斯密的《国富论》的第3篇第3章，在那里他展示了道德和财富的理论，注解了在他们的道德观念中穷人比富人更加严格。他的理论大部分是基于穷人的罪恶有更高的效用成本而不是基于信息，但是他也讨论了可观测的罪恶的效果。他认为在城市中的某个地方，对于城市穷人来说，属于一个严厉的教堂能够信号传递出他们的道德；同时对于富人来说，对罪恶的过度纵容会传递出财富，因为高消费能很快用适当的方法使人堕落。反信号传递将只是在不同情形下检验它是否可以通过合适类型来解释信号传
348 递的实证方面的多产领域。关于质量和信息提供方面的一项令人感兴趣的研究是金和莱斯利（Jin & Leslie，2003），他们研究了在洛杉矶餐厅对政府卫生评级卡的反应，这些在餐厅橱窗展示的卡片以前是可以选择的，后来成为强制性的。

注

N11.1　知情参与人先行动：信号传递

- 术语“信号传递”由斯宾塞（Spence，1973）引入。本书中的博弈从事后的角度对最初的模型进行了修改，从而使得教育模型更加简单与合理。在最初的文章中使用了相当奇怪的均衡概念：使得没有工人有积极性偏离，同时雇主的利润为零的策略组合。在该概念下，企业偏离的积极性无关紧要。

  信号传递与信息甄别的区分被归于斯蒂格利茨和韦斯（Stiglitz & Weiss，1989）。这一文献在两者的使用上存在巨大差异，并且“信号”被广泛使用在不在本章中论述类型的信号传递模型中。这可能导致混淆，“指示器”一词可能比信息变量更好理解。
- 信号传递的应用数不胜数。其中的一些例子为C. 威尔逊（C. Wilson，1980）的价格的使用和斯蒂格利茨（Stiglitz，1987）、罗斯（Ross，1977）的红利支付，以及非对称信息下的讨价还价（12.5节）。班克斯（Banks，1990）写了一本关于政治学中信号传递的书。实证论文包括莱亚德和萨卡罗普洛斯（Layard & Psacharopoulos，1974）关于教育的论文以及斯塔顿和翁贝克（Staten & Umbeck，1986）关于职业病的研究。莱利（Riley，2001）综述了关于信号传递的文献，罗切特和斯托尔（Rochet & Stole）研究了多维信号甄别。
- 法律判决是信号传递的一个应用领域。请参见 Grossman & Katz

(1983)。赖因加努姆(Reinganum,1988)给出了一个恰当的例子,说明了预先承诺在法律谈判中的价值。在她的模型中,一个惩恶扬善的检察官在参数为大多数被告有罪时,希望承诺一个混同策略,在这个策略中无论被告被发现有罪的概率如何,他的申诉请求都是相同的。

- 雄孔雀的尾巴或许是一个信号。加哈维(Zahavi,1975)指出大尾巴或许对雄孔雀有利,通过给自己施加障碍,它向潜在的伴侣表明:即使在身体有缺陷的情况下,它也能够生存。到目前为止,在自然界中的信号传递有完整的参考文献;参见约翰·梅纳德·史密斯和戴维·哈珀(John Maynard Smith & David Harper)2004年的书《动物信号》(*Animal Signal*)。
- **广告**:广告是信号传递很自然的应用。相关文献有Nelson(1974),Kihlstrom & Riordan(1984)以及Milgrom & Roberts(1986),其中尼尔森的论文在信号传递广为人知之前就已完成。我将简要描述以尼尔森文章为蓝本的模型。企业可能有两种类型:低质量或高质量。只有当消费者接收到一个企业的广告后才会知道该企业的存在,只有当他们购买了产品后才知道它的产品的质量。他们对低质量产品的支付不愿超过零,但任何产品都有生产成本。由于该模型为有限期并且质量为外生的,它不是一个声誉模型。

如果广告成本大于一次销售的利润但低于重复销售的利润,则高频率的广告将与高产品质量相伴。只有高质量企业会做广告。

即使消费者不理解市场并且不从企业激励中进行理性推断,模型仍然成立,所以它不必是一个信号传递模型。如果消费者消极反应并且对他们收到广告的企业产品进行试用,这时高质量企业做更多广告这一点仍然成立,原因是它吸引的顾客成为重复顾客。如果消费者能够理解企业的激励,信号传递会加强结果。消费者知道做广告的企业一定有高质量,所以他们愿意试用它们的产品。如果消费者知道90%的企业为低质量,但不知道仅有高质量企业做广告,他们将不会对收 349
到的广告作出反应。这与6.2节中的博士录取博弈相类似。

- 如果人口中只存在两个工人,模型将会依以下因素而不同:

(1)每个工人以客观概率0.5为高能力,二者均可能为高能力。

(2)其中之一为高能力,另一个为低能力,所以唯一的主观概率为0.5。

在(2)中,当一个工人可信地传递他为高能力的信号时,雇主会知道另一个工人一定为低能力,因此两种情况下的结果将是不同的。

习 题

11.1 低能力更好吗？(中等难度)

现在改变教育Ⅰ，使得两个可能的工人能力为 $a \in \{1, 4\}$。

(a) 这个博弈的均衡是什么？在每个均衡中工人的支付（以及工人的平均支付）为多少？

(b) 现在应用直观标准（参见注释 6.2)。均衡与过去一样吗？

(c) 如果高能力为 5 而不是 4，则均衡的工人支付如何变化？

(d) 对新博弈应用直观标准。均衡与过去一样吗？

(e) 提高最大能力会减少工人的平均支付吗？这会损害所有工人吗？

11.2 生产性教育与均衡的不存在性（难）

现在改变教育Ⅰ，使得两个相同概率的能力为 $a_L=2$ 与 $a_H=5$，并且教育为生产性的：得到合同的雇主的支付为 $\pi_{雇主}=a+2s-w$。工人的效用函数仍为 $U=w-8s/a$。

(a) 在完全信息下，每种类型工人在受教育与不受教育下的工资水平各为多少？谁会接受教育？

(b) 证明不完全信息下的均衡为唯一的（不考虑非均衡信念与非均衡工资)，但却是不合理的。

11.3 价格与质量（中等难度)

消费者对 Apex 公司生产低质量与高质量产品的先验概率分别为 0.4 与 0.6。在两种情况下产出的单位成本均为 1，并且高质量产品对消费者的价值为 10 而低质量为 0。风险中性的消费者决定在两期中的购买行为，但他在购买后才了解产品质量。不存在贴现。

(a) 如果 Apex 公司对两期必须选择相同的价格 p^*，则它的价格与利润各为多少？

(b) 如果 Apex 公司可以对两期选择两个价格 p_1 与 p_2，但不能事先保证 p_2，则它的价格与利润各为多少？

(c) 如果贴现率为 $r=0.1$，则（b）中的结果是什么？

350 (d) 回到 $r=0$，如果 Apex 公司可以保证 p_2，则结果如何变化？

(e) 如果低质量的概率由 0.4 变为 0.95，(a) 与（b）中的结果会如何变化？(这一问有一定的难度。)

11.4 连续信号下的信号传递（难）

假定工人能力以相等的概率为 $a_L=1$ 和 $a_H=5$，并且工人可以选择任何数量的教育 $y\in[0, \infty)$。令 $U_{工人}=w-8y/a$，$\pi_{雇主}=a-w$。

(a) 令 y^* 表示取得高工资所必须要求的教育数量。存在着不同水平 y^* 下的混同均衡的连续统。在混同均衡中的教育水平 y^* 与工资 $w(y)$ 各为多少？支持它们的非均衡信念集合是什么？激励相容约束是什么？

(b) 存在着不同水平 y^* 下的分离均衡的连续统。在分离均衡中的教育水平与工资各为多少？为什么需要非均衡信念，以及是什么信念支持你找出的均衡？对这些均衡的自选择约束是什么？

(c) 如果你必须预测最终会出现的均衡，你会选择哪一个？

11.5 广告（中等难度）

Brydox 公司将一种高质量的洗发水投放市场，但消费者仅以 0.5 的概率认为它是高质量的。消费者愿意为高质量支付 10，为低质量支付 0，同时洗发水的单位生产成本为 6。企业可以决定在无聊的电视广告上的支出，电视广告的内容可以是欢快的人们洗头发的场面，但潜在市场由 110 个冷血的经济学家组成，他们不会被这些心理技巧所迷惑。市场可分为两期。

(a) 如果禁止广告的话，Brydox 公司会破产吗？

(b) 如果存在两期消费者购买，并且如果一个消费者在第一期购买的话，他将会发现洗发水的质量，证明 Brydox 公司或许会在无聊的商业广告上大量支出。

(c) 如果 Brydox 公司支出正的广告费用，这个费用的最小值与最大值各为多少？

11.6 博弈论书籍（容易）

在前言中，在解释为什么列出竞争博弈书籍书单时我说过："只有一个对自己所写的书特别有信心，并且认为他的书与其他可能的替代品相比是一本非常好的书的作者才会这样做，而且你会更加确信你购买本书是一个非常明智的决定。"

(a) 如果有可能我是一个过高评价自己所写的书的狂妄者，那么信号的价值的影响将是什么？

(b) 是否可能有一个为什么我列出竞争均衡理论书籍书单的非策略理由？

(c) 如果所有读者都被列出书单这个信号所说服而相信此书是本好书，那么列出书单就是无成本的，即使对一本差书的作者而言也是，这样的话信

号就失效了。怎样解决这个悖论？给出口头解释。

（d）为（c）提供一个规范的模型。

11.7 销售人员的着装（中等难度）

351 假设销售人员的能力可能是 $x=1$（以概率 θ）或者是 $x=4$，如果他穿戴整齐，他的结果会更好，所以他的总产出是（$x+2s$），其中如果他穿戴整齐，则 $s=1$；如果穿戴很糟，则 $s=0$。销售人员的效用是 $U=w-(8s/x)$，其中 w 是他的工资，雇主竞相雇用销售人员。

（a）完全信息下低能力销售人员的工资是多少？

（b）证明不完全信息下的分离均衡中必须满足的自选择约束。

（c）如果信息是不完全的，找出这个博弈的所有均衡。

11.8 政治中的信号干扰（难）

国会委员会已经协商好销售烟草是不合法的，但是要举行电视听证会，双方专家要陈述各自的证词。解释为什么这些听证会是一种形式的信号，其中被说服的听众是还没有协商好的国会。你可以忽视这个听证会对公众观点的可能影响。

11.9 疯狂的掠夺者（难）（节选自 Gintis（2001，问题 12.10））

Apex 公司在小饰品市场上处于垄断地位，每期获得 m 的利润，但是 Brydox 公司已经进入这个市场。时间是两期且没有折现。Apex 公司可以以低价格掠食 Brydox 公司或者以高价格成为双卖家垄断。由此导致的利润对 Apex 公司而言是 $-p_a$ 或者 d_a，对 Brydox 公司而言是 $-p_b$ 或者 d_b。当 Brydox 公司作出同样选择时，它必须决定第二期是否还在这个市场中存在。然而，如果教授 Apex 拥有这家公司 60%的股票，并且他是疯狂的，他认为可以通过掠食 Brydox 公司获得数量 $p^*>d_a$（且他不会从经验中获得知识）。Brydox 起初评估 Apex 疯狂的概率是 θ。

（a）证明在下列条件下，均衡是分离的，也就是说，依赖于教授是不是疯狂的，在第一期中 Apex 的行为将不一致：

$$-p_a+m<2d_a \tag{11.39}$$

（b）证明在下列条件下，均衡是混同的，也就是说，无论教授是不是疯狂的，在第一期中 Apex 的行为都将是一致的：

$$\theta\geqslant\frac{d_b}{p_b+d_b} \tag{11.40}$$

（c）如果两个条件（11.39）和（11.40）都没有应用，均衡是混同的，也就是说，Apex 使用一个混合策略且 Brydox 在第一期末可能说出也可能说不出教授是不是疯狂的。设 α 是第一期中一个明智的 Apex 掠食 Brydox 的概率，设 β 是 Brydox 在观察到 Apex 第一期掠食它后在第二期停留在市场上的概率。证明 α 和 β 的均衡值是 352

$$\alpha=\frac{\theta p_b}{(1-\theta)d_b} \tag{11.41}$$

$$\beta=\frac{-p_a+m-2d_a}{m-d_a} \tag{11.42}$$

（d）这种行为是否与如下任何一种现象有关？——信号传递；信号干扰；声誉；效率工资。

11.10 垄断质量（中等难度）

一个消费者面对一个垄断者。他起初认为垄断者有高质量产品的概率是 H，高质量垄断者可以不花费任何成本来用广告宣传自己。尽管垄断者有低质量产品的概率为（$1-H$），且这将花费公司成本 A 来投放广告。公司投放广告，提供的价格是 P。消费者从高质量产品中获得的效用是 $X>P$，但是从低质量产品中获得的效用是 0，无论质量如何，垄断者的生产成本都是 C，其中 $C<P-A$。如果消费者不购买产品，销售者不会发生生产成本。

你可以假设高质量公司总是投放广告，消费者只有在接收到广告后才会购买产品，P 是外生给定的。

（a）描述这个博弈的大致结构。

（b）如果 H 足够高，均衡是什么？

（c）如果 H 足够低，均衡是混合策略的。高质量公司总是投放广告，低质量公司以概率 M 投放广告，消费者以概率 N 购买。使用贝叶斯法则，一旦消费者接受广告，说明他关于公司是高质量的后验概率 R 是如何改变的。

（d）如果 H 足够低，解释为什么均衡不再是纯策略的（H 仍是正的）。

（e）得出 M 的均衡概率（不必计算出 N）。

结婚能力信号传递：第 11 章的课堂博弈

每一个学生是一位具有在［0，100］之间分布的随机的和秘密的财富水平 W 的男人或女人。如果有 10 个人，财富水平分别是 0，10，20，30，50，60，80，90，100 和 100（100 出现两次）。如果学生多于 10 个，教师会从这些数字中选取并重复这些数字。如果学生的数目不能被 10 除 353

尽将会省略某些数字。

因为社会禁忌将自己的财富水平告诉别人，所以一个人的财富水平是秘密的。虽然如此，因为每个人的目标是嫁娶一个有很高财富水平的人，所以每个人对财富都很感兴趣。

每年，每位学生同时写下那一年在衣服上的花费。接着，无论以什么顺序，每个人选择其他人暂时配成一对。上面两个行动都是公开的——你可以把你的计分单展示给别人看。在第五年，这一对变成永恒的——结婚。

你的支付是一个初始财富减去你和你的配偶（如果有的话）在衣服花费上的凹函数。衣服自身没有价值。因此，设 C_i 和 C_j 表示在这五年当中累计的衣服消费，如果 i 嫁给 j，i 的支付是

$$U_i = \log(W_i - C_i + W_j - C_j)$$

表 11—1 列出了这个函数的一些可能支付。

表 11—1 **结婚值**

剩余家庭财富	0	1	2	5	10	25	50	100	150	200
效用	$-\infty$	0	0.7	1.6	2.3	3.2	3.9	4.6	5	5.3

你第一次进行这个博弈时，仅有的允许的交流是："你愿意和我配成一对吗？"和"愿意"或者"不愿意"。这些配对不需要承担义务，可以在期间进行更改。

如果有时间，博弈会在新的财富和无限制交流的条件下进行。

第三部分　应　用

第12章 讨价还价

12.1 基本的讨价还价问题：分馅饼

357 本书第三部分试图通过大量的应用，来增加你对第一部分和第二部分所学技术的理解。其后的三章可以以任意顺序阅读，它们说明了价格被决定的三种情形。第 12 章是关于讨价还价，其中买卖双方都拥有市场势力。第 13 章是关于拍卖，其中卖方有市场势力，出售一定数量限定的物品，并且希望买方间相互竞价。第 14 章是关于各种不同产品特征的定价模型，例如差异产品及耐用产品的定价问题。这些章节共同的特点是，利用新理论解释老问题。

讨价还价理论对经济学经典理论中被错误描述的一类定价方式提出了挑战。当市场中买方或者卖方都有许多参与者时，经典理论很好地解释了价格的形成。在竞争市场中，我们能找到需求曲线和供给曲线的交点，在垄断市场中，我们能找到卖方垄断或买方垄断的产出。然而，当买方和卖方都只有少数几个参与者时，问题就出现了。过去，一个人在初学经济学时会被告知，在双头垄断（一个买家和一个卖家）的情况下，标准的经济理论不再适用，因为交易双方必须讨价还价。在讨论非对称信息的章节中，如果不是假设了委托方或者代理方面临着竞争，我们肯定已经多次触及这一点了。在那种情况下，我们的模型是，另一方有能力提供接受或拒绝的合约。

12.1 节和 12.2 节介绍了讨价还价的原型——分馅饼，更加复杂的形式将在这一章的余下部分予以讨论。其中 12.2 节所讨论的博弈基本原则和所应用的纳什谈判解涉及合作博弈理论。12.3 节把讨价还价看做一个有限重复的讨

价还价过程。12.4 节则将它视为无限重复过程，并且为鲁宾斯坦模型（Rubinstein Model）的提出做准备。12.5 节回到有限次数的重要博弈上（实际上，次数为 2），但引入了不完全信息。最后，12.6 节从迈尔森-萨特思韦特模型（Myerson-Sathsthwait Model）的不同角度讨论了讨价还价问题：人们是怎样试图建立一个讨价还价机制的，即一种事先安排的能最大化人们期望剩余的规则集。 358

分馅饼博弈

参与人

史密斯和琼斯。

博弈顺序

参与人同时选择馅饼的份额比例 θ_s 和 θ_j。

支付

如果 $\theta_s+\theta_j\leqslant 1$，两人分别得到所选的比例：

$$\begin{cases}\pi_s=\theta_s\\ \pi_j=\theta_j\end{cases} \tag{12.1}$$

如果 $\theta_s+\theta_j>1$，则 $\pi_s=\pi_j=0$。

分馅饼博弈类似于斗鸡博弈，不同点在于，前者有一系列连续的纳什均衡解：任意组合（θ_s，θ_j）只须满足 $\theta_s+\theta_j=1$ 就可以。纳什均衡的概念在这里显得很糟，因为当出现连续均衡时，大家对均衡结果的共识是一个非常强的假设。聚点解的思想（参见 1.5 节）也许有助于选出唯一的纳什均衡。斗鸡博弈中的策略空间是离散的，而且没有对称的纯策略均衡；而分馅饼博弈的策略空间是连续的，而且存在对称的纯策略均衡。在分馅饼博弈中，其聚点解就是平分，即（0.5，0.5）。

如果参与人顺序行动，分馅饼博弈就变成众所周知的**最后通牒博弈**（Ultimatum Game），其将呈现出明显的先动优势。如果琼斯先行动，那么唯一的纳什均衡解将是（0，1）。这一均衡是弱的，因为史密斯对采取什么行动无所谓（这与 4.3 节中讨论的开集问题是一回事）。当史密斯选择 $\theta_s=0$，使得$\theta_s+\theta_j=1$ 时，相当于他接受了对方的出价。对于琼斯这种自私的出价，只要我们在模型中加入一个很小的恶意值，即只要史密斯选择 $\theta_s>0$，就将拒绝这种出价。这是很真实的，所以依赖于恶意值的大小，均衡可能是：琼斯提出一个更一般的提议，依赖于史密斯的效用在得到馅饼的份额和看到琼斯伤心之间

的权衡。

在许多应用中，分馅饼博弈变得十分简单。因为如果双方发现要求的比例之和大于 1，他们有机会改变主意。例如在劳资谈判中，如果经理人琼斯的出价被工会史密斯回绝了，他们并不会马上失去劳资合作的全部收益。也许，他们会失去一周的生产机会，但可以继续提出新的出价。我们将对这样的顺序出价过程模型化。在我们进入这一节之前，让我们先看看合作博弈理论是如何处理这个问题的。

12.2 纳什讨价还价解

359 相比本书之前的方法，一个关于博弈的完全不同的研究方法倾向于描述博弈中的参与者和支付函数，在公平或效率的基础上来确定均衡应当具有的性质，并进一步数理化这些性质，而且加入其他公理，使均衡显得比较完整。这是一种简化形式的方法，如果建模者发现很难确定博弈的顺序，但认为他可以说出可能的结果，这种方法是有吸引力的。纳什（Nash，1950a）将这种思路引入讨价还价问题。这可能是合作博弈理论中最著名的应用了。纳什的目标是找到一组公理来描述双方都愿意参与的协议的性质，他所用的博弈模型仅比分馅饼问题略微复杂。在纳什的模型中，当达不成协议时，参与双方可以有不同的效用水平；而且效用函数可以是分配比例的非线性函数。图 12—1（a）和图 12—1（b）比较了这两种博弈。

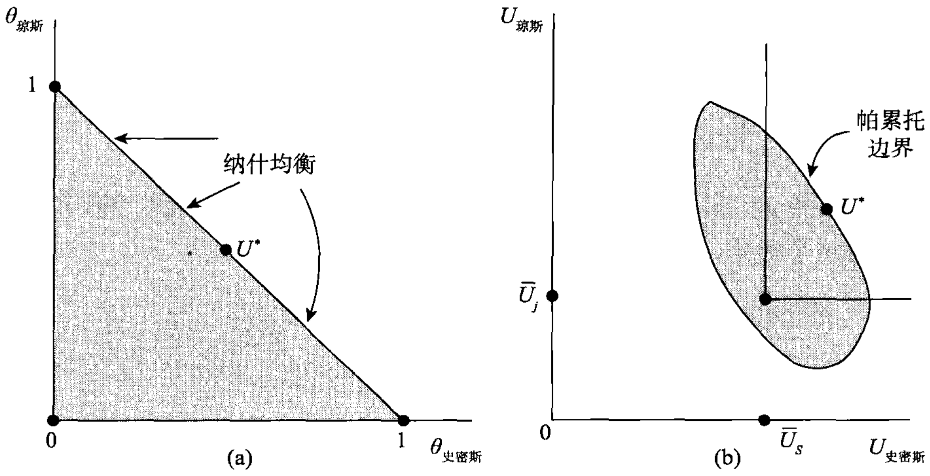


图 12—1　(a) 纳什讨价还价博弈；(b) 分馅饼博弈

在图 12—1 中，X 对应的阴影部分是可行支付集合，假定为凸集。退出

合作点或**威胁点**（threat point）为 $\bar{U}=(\bar{U}_s,\ \bar{U}_j)$。纳什讨价还价均衡解为 $U^*=(U_s^*,\ U_j^*)$，是 $\bar{U}$ 和 X 的函数，且满足以下四个公理条件。

1. 不变性（invariance）：对于任意单调递增的线性函数 F，

$$U^*[F(\bar{U}),\ F(X)]=F[U^*(\bar{U},\ X)] \tag{12.2}$$

即合作解应该独立于衡量效用的单位。

2. 有效性（efficiency）：合作解满足帕累托最优，即两个参与者不可能同时得到改进。数学表示为：

$$(U_s,\ U_j)>U^*\Rightarrow(U_s,\ U_j)\notin X \tag{12.3}$$

3. 独立于无关选择（independence of irrelevant alternatives）：如果我们 360
从 X 中去掉部分效用组合，得到较小的集合 Y，则如果 U^* 不是所去掉的点，U^* 将保持不变。

$$U^*(\bar{U},\ X)\in Y\subseteq X\Rightarrow U^*(\bar{U},\ Y)=U^*(\bar{U},\ X) \tag{12.4}$$

4. 匿名性（anonymity）或对称性（symmetry）：交换两个参与人的位置不影响合作解。

四个公理中，独立于无关选择公理最值得商酌。但是，我更想质疑这种公理化的研究方法——它严重依赖于公理背后的直觉。直觉告诉我们，结果应该是有效的和对称的。这样，许多结果在事前就被排除了。但是，在前面的章节中，大多数博弈的结果很合理，却不满足有效性。例如斗鸡博弈有合理的非对称解。

无论有什么缺陷，这些公理都充分地刻画了纳什合作解。可以证明，如果 U^* 满足以上四个公理，其策略组合将是唯一的：

$$U^*=\underset{U\in X,U\geqslant\bar{U}}{\operatorname{argmax}}(U_s-\bar{U}_s)(U_j-\bar{U}_j) \tag{12.5}$$

分馅饼博弈只需要部分公理就可以得出合作解。我们用纳什合作解的框架来考虑这个博弈，则（12.5）式变为

$$\underset{\theta_s,\theta_j}{\text{Maximize}}(\theta_s-0)(\theta_j-0) \tag{12.6}$$

约束条件为 $\theta_s+\theta_j\leqslant1$，对应的一阶条件为

$$\theta_s-\lambda=0,\ \theta_j-\lambda=0 \tag{12.7}$$

式中，λ 为限制条件的拉格朗日乘子。由（12.7）式以及限制条件，解得 $\theta_s=\theta_j=1/2$。同我们在非合作博弈中讨论的聚点解一样，合作解也是均分馅饼。

虽然纳什的目的仅在于刻画参与人的预期，但从合作博弈理论中仍可以

觉察到比非合作博弈中更多的道德因素。合作解完整、公正，体现了美感，而且考虑了效率。在随后的章节中，我们将讨论非合作的讨价还价模型，结果似是而非，却缺少以上提到的任一性质。合作博弈对于伦理决策也许有用，但它吸引人的性质往往不适合经济条件，并且这种公理化研究方法的精神同经济理论中的效用最大化思想相去甚远。

然而，必须记住，合作博弈理论中的道德因素是现实的。因为人们经常是道德的，至少假装如此。人们经常按照他们认为代表圣洁的行为准则去做，即使以金钱为代价。在讨价还价的试验中，即使参与人被赋予提出“接受或放弃”方案的权力，但他往往提出大家平分的方案。有可能这是因为他崇尚公平，或许是他害怕取得大部分收入时，对手投来鄙夷的目光。一旦参与人认为谈判上的优势是他们应得的权利，他们的行为将趋向于非合作博弈中参
361 与人的行为（Hoffman & Spitzer，1985）。弗兰克（Frank，1988）和塞勒（Thaler，1992）描述了大量的事例用以表明简单的博弈难以解释真实世界或者实验中的结果。人们的支付中不仅仅包括取得的收入，有时候意识到行为的社会性比仅关注现金收入更加重要。这为建模者保持模型简单化提供了一种解释：当他将模型应用于真实世界的时候，模型应该不至于过于不实用，以致无法将具体设定的细节结合起来。

12.3 有限期的轮流出价

以下两节所讨论的博弈仍然是分馅饼，但包括多期的议价过程。这意味着策略不再等价于行动，而是依据以前的行动来确定当前行动的准则。

轮流出价

参与人

史密斯和琼斯。

博弈顺序

(1) 史密斯出价 θ_1。

(1*) 琼斯决定接受还是拒绝。

(2) 琼斯出价 θ_2。

(2*) 史密斯决定接受还是拒绝。

…………

(T) 史密斯出价 θ_T。

(T^*) 琼斯决定接受还是拒绝。

支付

贴现因子为 $\delta \leqslant 1$。

如果琼斯在第 m 期接受了史密斯的出价，则

$$\pi_s = \delta^m \theta_m$$

$$\pi_j = \delta^m (1 - \theta_m)$$

如果是琼斯的出价被接受，置换所有的下标。

如果协议无法达成，双方支付均为 0。

当博弈持续数期时，我们要决定是否需要考虑贴现。当贴现率为 r 时，
贴现因子为 $\delta = 1/(1+r)$。因此，在没有贴现时，$r=0$，$\delta=1$。贴现是否适
合于被模型化的条件，取决于延期是否会因为以下两个原因而影响支付：第
一，讨价还价需要花费时间；第二，博弈有可能突然停止（5.2 节）。用哪种
方式解释轮流出价模型，取决于博弈是否花费了真实的时间。如果讨价还价 362
过程在一天之内就能完成，贴现就不重要。但是，如果每次出价需要花一周
时间，那么，时间延期对于参与双方都很重要，因而他们的支付应该被贴现。

先考虑没有贴现的情况。我们将得到唯一的完美子博弈结果——史密斯得到整个馅饼，支持这一结果的均衡有许多种。在每一个均衡中，史密斯每期出价 $\theta_s=1$，但是由于琼斯接受出价的时间可能不同，因而均衡也不一样。所有的均衡都是弱的，因为对于琼斯而言接受或拒绝没有差异。这些均衡唯一的差别是，琼斯最后决定接受的时间。

史密斯因为享有最后一期的出价权利而获得成功。当他在最后一期中要求得到整个馅饼时，即使琼斯拒绝接受，琼斯仍然一无所获。因此，与单期博弈不同，这不是先动优势，而是后动的出价优势。

在有贴现的情况下，第一期馅饼的全部价值等于 1，第二期等于 δ，依此类推。如果博弈持续到第 T 期，史密斯将要求占有整个馅饼，琼斯作为符合我们假设的无差异参与者，将接受这个要求。在第（$T-1$）期，琼斯可以提出分给史密斯 δ，自己得到（$1-\delta$）；史密斯将同意这一方案。尽管史密斯可以通过拒绝接受来获得更高的份额，他却会因为晚得到收入而付出贴现的成本。

依此类推，在第（$T-2$）期，史密斯将提出分给琼斯 $\delta(1-\delta)$，自己得到 $[1-\delta(1-\delta)]$。琼斯将同意这一方案，因为在得到正的份额的情况下，琼斯也希望博弈早点结束。在（$T-3$）期，琼斯将提出分给史密斯 $\delta[1-\delta(1-\delta)]$，自己得到 $\{1-\delta[1-\delta(1-\delta)]\}$。史密斯将同意这一方案，同样是为了避免博弈时期的延长。表 12—1 显示了当 $\delta=0.9$ 时，两人在各阶段所得的份额。

表 12—1　　有限期的轮流出价

阶段	史密斯的份额	琼斯的份额	总价值	谁出价
$T-3$	0.819	0.181	0.9^{T-4}	琼斯
$T-2$	0.91	0.09	0.9^{T-3}	史密斯
$T-1$	0.9	0.1	0.9^{T-2}	琼斯
T	1	0	0.9^{T-1}	史密斯

我们从后面向前倒推，如果提出建议的是史密斯，那么史密斯的境况就比琼斯提出建议的时期要好；但是，如果我们只考虑史密斯提出建议的时期，那么史密斯所占的份额就降低了。如果博弈的持续时间很长，那么史密斯在他提出建议时提议的份额就会趋近于 $1/(1+\delta)$；当 $\delta=0.9$ 时，上式的值为 0.53。我们将在下一节给出上式的经济理论基础。在均衡中，参与人提出的第一个方案就会被接受，因为参与人选择的方案使其他参与人不能通过等待来提高自己的收益。

12.4　无限期的轮流出价

在 5.2 节中，无名氏定理指出，当贴现率很低、博弈重复无穷多次时，将存在许多均衡结果。然而在讨价还价模型中，该定理并不适用，因为该模
363 型不是一个重复博弈。当某个参与人接受对方的出价时，博弈就中止了。并且，只有被接受的出价与参与人的最后支付有关，而与之前阶段的出价建议无关。特别地，也没有用来支撑无名氏定理博弈结果的脱离均衡的惩罚。

假设史密斯和琼斯的贴现系数分别为 δ_s 和 δ_j，贴现系数可以不相等，但是必须大于 0 并且小于或等于 1。那么，无限期讨价还价博弈存在唯一的完美子博弈均衡的结果，其中，史密斯分得的部分为

$$\theta_s=\frac{1-\delta_j}{1-\delta_s\delta_j} \tag{12.8}$$

当 $\delta_s=\delta_j=\delta$ 时，

$$\theta_s=\frac{1}{1+\delta} \tag{12.9}$$

如果贴现率很高，史密斯就可以得到馅饼的绝大部分：贴现率 $r=10$，意味着 $\delta=0.091$，$\theta_s=0.92$（取近似值）。原因在于，当贴现率很高时，第二期博弈变得失去了意义，相当于回到 12.1 节中讨论的简单博弈。另一个极端是，如果 r 很小，馅饼将平均分配：如果 $r=0.01$，则 $\delta\approx0.99$，$\theta_s\approx0.503$。

贴现率严格大于零的假设至关重要，即使它十分接近零。否则，12.1 节中讨论的一系列连续的完美均衡将会出现。因为时间不会改变什么，双方都没有积极性提早达成协议。当两人的贴现率相等时，由于参与人的延期成本同分得的份额成正比，如果史密斯提出不平等的分配方案，例如 (0.7，0.3)，既然琼斯为延期所支付的成本要低一些，她将拒绝接受。正如我们下面要证明的，只有当平均分配时，琼斯才会接受。

定理 12.1 （Rubinstein，1982）[1]

在存在贴现的无限期博弈中，完美均衡结果是唯一的。并且，如果史密斯首先行动，均衡结果为 $\theta_s=(1-\delta_j)/(1-\delta_s\delta_j)$。

证明：我们发现在 T 期博弈的某一期中，如果史密斯出价，他能得到较大的份额。考虑所有的完美均衡，史密斯会在他出价的某一期得到未贴现过的最大份额，记作 M。考虑博弈从 t 时刻开始，史密斯的所得不可能高于 M，如表 12—2 所示（琼斯因而得到 $1-M$，但这一点与证明无关）。

表 12—2　　无限期的轮流出价

阶段	史密斯的份额	琼斯的份额	谁出价
$t-2$	$1-\delta_j(1-\delta_s M)$		史密斯
$t-1$		$1-\delta_s M$	琼斯
t	M		史密斯

技巧在于找到一种方法来表示史密斯可以得到的最大份额。考虑第 $t-1$ 期，琼斯将如何出价。如果出价高于史密斯在一期之后所得到的 M 的贴现值，他就会接受。因此，琼斯会开价使得史密斯得到 $\delta_s M$，自己得到 $1-\delta_s M$。在 364
$t-2$期，史密斯明白，如果提出的方案使琼斯的所得低于 $t-1$ 期所能得到的最低水平的贴现值，琼斯一定会拒绝接受。史密斯提出的方案不能低于 $\delta_j(1-\delta_s M)$，即他在 $t-2$ 期留给自己的部分不能高于 $1-\delta_j(1-\delta_s M)$。

现在，我们得到了“史密斯所能得到的最大份额”的两种表达式。从而得到等式

$$M=1-\delta_j(1-\delta_s M) \tag{12.10}$$

解出 M，得到：

$$M=\frac{1-\delta_j}{1-\delta_s\,\delta_j} \tag{12.11}$$

我们可以利用史密斯所得的最小份额 m 来重复以上讨论。如果史密斯预

期第 t 期的所得不会低于 m，琼斯在 $t-1$ 期的所得就不会高于 $1-\delta_s m$。在 $t-2$期，史密斯知道，如果让琼斯拿到这一水平的贴现值，琼斯一定会接受。因此，史密斯可以保证收入 $1-\delta_j(1-\delta_s m)$，这和利用 M 得到的表达式一致。从而完美均衡所能得到的最小份额等于最大份额，因此均衡结果是唯一的。证毕。

这个源于 Rubinstein（1982）的模型之所以被广泛采用，是因为它解释了为什么具有相同贴现率的两个参与人会倾向于平均分配（在模型中的极限情况下，当贴现率趋近于 0 时，δ 趋近于 1）。遗憾的是，与纳什均衡的讨价还价解类似，我们没有一个很好的办法把模型扩展到三个或三个以上参与人的情况，也就是没有很好的办法来说明他们是怎样确定和接受出价的。哈勒（Haller，1986）证明，至少在一种特殊情形下，其结果与 Rubinstein（1982）不同，但是如果不考虑贴现，博弈就又回到原来的情况。

没有贴现，但有固定的谈判成本

有两种方法来模型化每一期的谈判成本：和馅饼的当期价值成正比（上面用到的方法），或者每期支付固定的成本（将在下面讨论，沿用鲁宾斯坦（Rubinstein，1982）的方法）。为了弄清两者的区别，试想建筑项目中的劳资谈判。当罢工延缓了工期，将出现两种损失。第一种是由于推迟了新建筑的出租或销售而产生的，与建筑的价值成正比。另一种是合同规定的延期完工的罚金，一般是每周支付一笔固定数量的金额。两类成本对谈判进程的影响截然不同。

365 假设任何时期都不存在贴现，当史密斯或者琼斯提出方案时，必须支付 c_s 或 c_j 的成本。在每一个完美子博弈均衡中，史密斯提出方案，琼斯予以接受，但要区分以下三种情况：

延期成本相等

$$c_s = c_j = c$$

此时，12.1 节中讨论过的纳什均衡的不确定性仍然存在，几乎毫无改进。任何使得两个人的收入分别大于等于 c 的分配都能得到某个完美均衡的支持。

延期对琼斯更加不利

$$c_s < c_j$$

此时，史密斯将得到整个馅饼。延期使得琼斯的损失比史密斯的更大，除了

降低总体的财富，并不改变博弈的状态。此时，博弈可以看做静态的。因为不论过去了多少期，在两个参与人看来，博弈与初期都是相同的。如果在第 t 期琼斯提出分给史密斯 x，则在 $t-1$ 期，史密斯可以提出分给琼斯 $1-x-c_j$，自己保留 $x+c_j$。在 $t-2$ 期，琼斯会分给史密斯 $x+c_j-c_s$，自己保留 $1-x-c_j+c_s$。依此类推，在 $t-4$ 期以及 $t-6$ 期，琼斯将分给史密斯 $1-x-2c_j+2c_s$ 和 $1-x-3c_j+3c_s$。不断向前倒推的结果是，史密斯可以得到比琼斯高任意 $\gamma(c_j-c_s)$ 倍的收入，其中 γ 为任意大的整数。因此，在博弈一开始，琼斯就会放弃角逐，接受 0 分配。

延期对史密斯更加不利

$$c_s > c_j$$

此时，史密斯得到 c_j，而琼斯得到 $1-c_j$。作为首先行动者，史密斯的份额受限于成本 c_j。因为如果史密斯知道琼斯在第二期会提出（0，1）的分配方案，他会在第一期提出 $(c_j, 1-c_j)$，并且琼斯会接受。

12.5 不完全信息

一开始就达成协议，这一特征刻画了以上讨论的完全信息下的多期博弈。在不完全信息下，知识随着博弈的进行而改变，谈判可能持续一期以上，出现的结果也许不符合效率，但肯定符合现实。完全信息的模型无法解释诸如罢工和战争等现象。但是，一旦缺少信息的一方可以通过观察拥有信息的一方所提出或者放弃的方案来识别其类型，这些不幸的事情就会发生。有关不完全信息讨价还价的文献很多。在此，我所选取的模型基于 Fudenberg & Tirole（1983）中的第一部分。这仅仅是教人如何建立这类模型的一个特例，其结论不具有普遍性。

从单阶段的博弈开始。我们记价格为 p_1，因为我们的记号要表示两个阶段。

不完全信息下单阶段讨价还价

参与人

参与人是一个卖方和一个买方，买方类型可能是买方$_{100}$或买方$_{150}$。

博弈顺序

（0）自然选择买方的类型，即买方对所购物品的效用评价：$b=100$

的概率为 γ，$b=150$ 的概率为 $(1-\gamma)$。

(1) 卖方出价 p_1。

(2) 买方接受或者拒绝 p_1。

支付

如果买方接受卖方的出价，卖方得到的支付为 p_1，否则为 0。

如果买方接受卖方的出价，买方得到的支付为 $b-p_1$，否则为 0。

均衡：

买方类型为买方$_{100}$：如果 $p_1 \leqslant 100$，则接受。

买方类型为买方$_{150}$：如果 $p_1 \leqslant 150$，则接受。

卖方：如果 $\gamma \geqslant 1/3$，则出价 $p_1=100$，否则出价 $p_1=150$。

两种类型的买方在最后的行动上都有一个占优策略，即接受任何 $p_1<b$ 的出价。接受任何 $p_1 \leqslant b$ 的出价是对卖方均衡策略的一个弱最优反应。如果买方拒绝 $p_1=b$ 的出价，那么不会存在任何均衡，这是因为我们将会陷入一个开集问题：在开集 $[0, b)$ 中不存在买方所能接受的最优出价，所以我们无法找到对卖方的一个最优反应。

对卖方而言，最优的两种策略是出价 $p_1=100$ 或者 $p_1=150$。这是因为，当出价低于 100 时，其卖出的概率和出价 $p_1=100$ 的概率是相同的；当出价在 $(100, 150]$ 时，其卖出的概率和出价 $p_1=150$ 的概率是相同的；当出价高于 150 时，卖方将得到零利润。如果卖方选择出价 $p_1=150$ 所得到的支付大于选择出价 $p_1=100$ 时所得到的支付，那么卖方将选择出价 $p_1=150$。也就是，如果

$$\begin{aligned}\pi(p_1=100) &= \gamma(100)+(1-\gamma)(100)<\pi(p_1=150)\\ &= \gamma(0)+(1-\gamma)(150)\end{aligned} \tag{12.12}$$

上式成立需要满足：

$$\gamma<\frac{1}{3} \tag{12.13}$$

因此，如果有少于 1/3 的买方对物品的效用评估为 100，那么卖方将会出价 150，来赌他不会遇到效用评估为 100 的购买者。

当然这意味着，如果 $\gamma<1/3$，有时卖方会无法卖出。这也是此模型最有趣的特点。通过在讨价还价模型中引入不完全信息，我们可以解释为什么有时候商谈会破裂，有效交易没有实施。这表明战争爆发，是因为国家间没有达成一致意见；罢工发生，是因为工会和雇主之间没有达成一致意见，我们

在解释问题时应当注意信息的不对称性。

这与机制设计的问题有类似之处。卖方只能出价一次，这一点是至关重 367
要的。一旦出价 $p_1=150$ 被拒绝，那么卖方会意识到 $b=100$。这个时候，卖方很想作出第二次出价，$p_1=100$。但是如果卖方可以那么做，那么第一次出价被拒绝将不能传达 $b=100$ 的信息。

现在我们考虑博弈的两阶段情形。假定我们限定 $\gamma<1/6$。我们需要作出贴现的假定，即谈判中的延期会造成损失。我们假定如果在第一阶段谈判没有成功，那么每一个参与者将有一个固定数量的损失 $D=4$。（结果，参与者在博弈的最后可能得到一个负的支付。）

不完全信息下两阶段讨价还价

参与人

参与人为一个卖方和一个买方，买方类型可能是买方$_{100}$或买方$_{150}$。

博弈顺序

（0）自然选择买方的类型，即买方对所购物品的效用评价：$b=100$ 的概率为 1/6，$b=150$ 的概率为 5/6。

（1）卖方出价 p_1。

（2）买方接受或者拒绝 p_1。

（3）卖方出价 p_2。

（4）买方接受或者拒绝 p_2。

支付

如果买方接受第一次出价，则卖方得到支付 p_1；如果买方接受第二次出价，则卖方得到支付 p_2-4；如果买方最后没有接受出价，则卖方得到支付 -4。

如果买方接受第一次出价，则买方得到支付 $b-p_1$；如果买方接受第二次出价，则卖方得到支付 $b-p_2-4$；如果买方最后没有接受出价，则卖方得到支付 -4。

均衡行为（考虑混合策略的分离均衡）

买方类型为买方$_{100}$：如果 $p_1\leqslant 104$，则接受；如果 $p_2\leqslant 100$，则接受。

买方类型为买方$_{150}$：如果 $p_1<154$，则接受；如果 $p_1=154$ 且概率 $\theta\leqslant 0.6$，则接受；如果 $p_2\leqslant 150$，则接受。

卖方：出价 $p_1=154$，出价 $p_2=150$。

买方$_{100}$类型的策略

如果买方$_{100}$拒绝一个 $p_1 < 104$ 的出价，他得到的支付是 -4，这要比（$100 - p_1$）的结果还坏。在第二阶段，拒绝出价 p_2 不会导致任何额外的交易成本，所以买方会拒绝任何 $p_2 < 100$ 的出价。

买方$_{150}$类型的策略

368 买方$_{150}$的均衡支付是：

$$\pi_{买方_{150}}(接受\ p_1 = 154) = b - 154 = -4 \tag{12.14}$$

或者

$$\pi_{买方_{150}}(拒绝\ p_1 = 154) = -4 + (b - 150) = -4 \tag{12.15}$$

因此，买方$_{150}$接受或者拒绝 $p_1 = 154$ 没有什么不同，他更愿意在第一阶段选择混合的均衡。如果 $p_1 < 154$，他就会得到相对更高的支付，也会立刻接受此出价。在第二阶段，和单阶段博弈一样，买方将接受任何 $p_2 \leqslant 150$ 的出价。

卖方策略

为了检查卖方是否有偏离均衡的动机，我们要从后往前倒推。既然有可能买方$_{150}$接受出价 $p_2 = 150$，那么如果博弈进行到第二阶段，卖方会知道买方类型为买方$_{100}$的可能性增加了。买方$_{100}$的先验概率为 Prob(买方$_{100}$)$=1/6$，后验概率为

$$\begin{aligned}&\text{Prob}(买方_{100} \mid 拒绝\ p_1 = 154)\\ &= \frac{\text{Prob}(拒绝\ p_1 = 154 \mid 买方_{100})\text{Prob}(买方_{100})}{\text{Prob}(拒绝\ p_1 = 154)}\\ &= \frac{\text{Prob}(拒绝 \mid 100)\text{Prob}(买方_{100})}{\text{Prob}(拒绝 \mid 100)\text{Prob}(100) + \text{Prob}(拒绝 \mid 150)\text{Prob}(150)}\\ &= \frac{1 \times (1/6)}{(1)(\theta) + (1-\theta)(5/6)}\end{aligned}$$

如果 $\theta \leqslant 0.6$，那么上式 $\leqslant 1/3$。 (12.16)

在第二阶段，卖方希望 Prob(买方$_{100}$) 的值不要超过 1/3。在第二阶段，如果卖方出价 $p_2 > 150$，则没有人会接受此价格。如果卖方选择出价 $p_2 \in (100, 150]$，则他将只能卖给具有较高评价值的买方。如果卖方选择出价 $p_2 \leqslant 100$，则对两种类型的买方都可以成交。这使得相对于 $p_2 = 100$，最优策略更可能是 $p_2 = 150$。在第二阶段期初，支付分别是

$$\pi_{\text{卖方}}(p_2 = 100) = 100 - 4 \tag{12.17}$$

$$\pi_{\text{卖方}}(p_2 = 150) = \text{Prob}(\text{买方}_{150}/\text{拒绝 } p_1 = 154) \times 150 - 4 \tag{12.18}$$

$$= \left[1 - \left(\frac{1 \times (1/6)}{(1)(\theta) + (1-\theta)(5/6)}\right)\right] \times 150 - 4 \tag{12.19}$$

如果 $\theta \leqslant 0.6$，那么当 $p_2 = 150$ 时会得到较高的支付。

因此，没有参与者会有动机偏离我们提及的均衡。 369

这个模型最重要的启示在于，讨价还价可能导致无效率。部分买方$_{150}$把交换推迟到第二期，由于存在贴现，因而缺乏效率。此外，在第一阶段博弈中，买方$_{100}$可能根本就没有购买的机会，进而失去了通过交换实现潜在收益的可能。

还要注意的是，在此模型中，均衡价格随着讨价还价的进程而下降。在第一阶段，价格 $p_1 = 154$，但在第二阶段，价格下降为 $p_2 = 150$。这种情况的发生是因为具有较高效用的买方知道，如果他选择等待，虽然价格会下降，但是他会有一个额外的延期成本。这个结果可以引出我们将在第 14 章讨论的耐用品垄断定价的问题。

不论在单阶段模型还是两阶段模型中，买方支付的价格严重依赖于卖方的均衡信念。如果卖方认为买方属于高效用的可能性为 0.5，则价格定为 100；如果他认为这种可能性只有 0.05，价格就会定为 150。这意味着，如果被认为是高效用买者比例很高的群体的一分子，一个买者是不幸的。即使他属于低效用，由于处在高效用人群中，他的谈判能力仍是低的。艾尔斯（Ayres，1991）发现，当他雇用被测试者在汽车交易所充当消费者时，他们的成败和他们的民族、性别有关，即使他们的谈判策略是事先确定的，并且完全相同。即便所面对的销售人员同他们的民族、性别一致，测试者仍然表现很差。因此，似乎可以这么说，他们被要求扮演的角色所伤害，因为这些角色所对应的群体通常被认为会支付较高的价格。

*12.6 建立一种讨价还价的方法：迈尔森-萨特思韦特模型

现在我们考虑一种不同的方法来处理不完全信息条件下讨价还价的问题。我们将在非合作博弈理论下研究问题，但现在我们要提出的是，在不同的形式化规则下，即在不同的机制下，博弈的结果会有什么变化。

在 12.5 节我们已经看到，在不完全信息的条件下，低效率在议价中很容

易发生。低效率的情况随着博弈规则的变化而变化。因此，如果可能，参与者愿意按照可以避免低效率的规则来行动，只要他们可以分享效率提高的好处。

假设一组参与者在某一博弈中通过某些方式来互动。他们事先想建立一套他们之间的交互规则，来充分利用他们在未来所拥有的信息，这一套规则就是我们在第 10 章所提到的机制。通常，用模型分析不同机制的时候，不必询问参与者他们的意见是否一致，而是把它当成模型的一种外生化来处理。这也是合理的，机制可以通过历史被设计出来作为市场的一项制度。如果不是这样，那么就会存在采用哪种机制的讨论，多了一个额外的复杂层。

370 我们考虑两个参与者在各种机制下交易物品的情况。机制必须满足下面两点：

1. 告诉我们在何种环境下物品应当从卖方交易到买方；
2. 告诉我们如果交易必须发生，在何种价格下物品应当被交易。

通常这两件事依赖于两个参与人的**报告**，即他们宣布什么。

第一个机制看上去是简单的。

双边交易 I：完全信息

参与人

一个买方和一个卖方。

博弈顺序

(0) 自然独立选择卖方对物品的效用评价为 v_s，买方对物品的效用评价为 v_b。v_s、v_b 服从 0 和 1 之间的均匀分布。并且参与者都可以观察到这些评价值。

(1) 卖方和买方同时报告对 (v_s, v_b) 的观察值，卖方报告其观察值 (v_s^s, v_b^s)，买方报告其观察值 (v_s^b, v_b^b)。

(2) 当 $(v_s^s, v_b^s)=(v_s^b, v_b^b)$ 时，如果 $v_s^s>v_b^s$，卖方将持有其物品不会交易；否则，买方若想获得物品，需要向卖方支付

$$p=v_s^s+\frac{v_b^s-v_s^s}{2} \tag{12.20}$$

当 $(v_s^s, v_b^s)\neq(v_s^b, v_b^b)$ 时，物品被毁坏，买方向法院赔付 v_b^s。

支付

如果卖方持有物品不交易，那么两个参与者所得到的支付都是 0。如果买方获得了物品，则卖方获得的支付为 $p-v_s$，买方获得的支付为 v_b-p。如果两者报告的观察值不同，则卖方得到支付 $-v_s$，买方得到支付 $-v_b^s$。

我们把支付标准化了，所以如果双方没有交易发生，每个参与人的支付都是零。作一个其他的选择，我们当然也可以把支付规定成其他的形式，如果双方没有交易发生，我们可以替换成 $\pi_s = v_s$，$\pi_b = 0$ 。

这是第 10 章中的十字交叉检验机制。对于买卖双方而言，说出真实的信息是一个均衡。因为如果买方想要得到物品，那么双方得到的支付是 $\pi_s = (v_b^s - v_s^s)/2$，$\pi_b = (v_b^s - v_s^s)/2$，当且仅当 $v_b^s > v_s^s$ 的时候，支付才是正数。这会产生有效的分配，从某种意义上来说，对物品有较高效用评价的参与人最终得到了物品。此外，如果参与者希望这种均衡发生，那么对双方来说这是一个可以接受的机制，因为他们可以分享交易带来的好处，而这种交易也可能继续下去。[2] 371

我介绍情况的时候已经包括了双边交易 I，并且提供了一个最优的基准，也给出了另一个交叉检验的说明。我们在下面会看到一个不完全信息博弈和一种不依赖于参与人行动的机制。

双边交易 II：不完全信息

参与人

一个买方和一个卖方。

博弈顺序

(0) 自然独立选择卖方对物品的效用评价为 v_s，买方对物品的效用评价为 v_b。v_s、v_b 服从 0 和 1 之间的均匀分布。每个参与者的效用评价值是自己拥有的私人信息。

(1) 卖方报价 p_s，买方报价 p_b。

(2) 买方接受或拒绝卖方的出价。交易发生的价格是 p_s。

支付

如果不存在交易，卖方所得支付为 0，买方所得支付为 0。

如果存在交易，卖方所得支付为 $p_s - v_s$，买方所得支付为 $v_b - p_s$。

机制中不能采用买方所报的价格，所以我们对博弈结果是无效率的并不会感到惊讶。我们从博弈的结尾往后倒推，很容易看到买方的均衡策略是，如果 $v_b \geq p_s$ 就接受出价，否则就拒绝出价。如果买方这样做，那么卖方的期望支付为

$$\begin{aligned}&[p_s - v_s][\text{Prob}\{v_b \geq p_s\}] + 0[\text{Prob}\{v_b \leq p_s\}]\\ &= [p_s - v_s][1 - p_s]\end{aligned} \tag{12.21}$$

对 p_s 求导，再令求导表达式为 0，得到卖方的均衡策略

$$p_s = \frac{1+v_s}{2} \tag{12.22}$$

这个机制是无效率的，因为如果 v_b 仅比 v_s 大一点，交易将不会发生，即便交易的好处的确是存在的。事实上，当 $v_b < (1+v_s)/2$ 时，交易将不会发生。

我们试着考虑另一个简单的机制，这里我们至少可以利用买卖双方的报价。我们把第（2）点替换成（2′）。

372 （2′）如果 $p_s > p_b$，物品被分配到卖方；否则，被分配到买方。如果交易发生，价格也就是 p_s。

假定买者真实地报告出 $p_b = v_b$。那么卖方的最优反应是什么呢？对于其选择的 p_s，卖方的期望支付为

$$\begin{aligned}&[p_s - v_s][\text{Prob}\{p_b(v_b) \geqslant p_s\}] + 0[\text{Prob}\{p_b(v_b) \leqslant p_s\}]\\&=[p_s - v_s][1 - p_s]\end{aligned} \tag{12.23}$$

既然 p_b 将随着 v_b 的变化而变化，在其期望中要取遍 v_b 的所有可能值。

最大化这个期望表达式，得到其一阶条件表达式 $1-2p_s+v_s=0$，进而得到卖方策略为

$$p_s(v_s) = \frac{1+v_s}{2} = \frac{1}{2} + \frac{v_s}{2} \tag{12.24}$$

对于卖方的策略，买方的最优反应是不是 $p_b = v_b$？答案是肯定的，因为当 $v_b \geqslant 1/2 + v_s/2$ 时，买方愿意发生交易，而 p_b 的大小并不会影响交易的价格，仅仅影响交易发生与否。买方担心当 $v_b < 1/2 + v_s/2$ 时交易会发生，但这种情况可以通过说真话的策略来避免。买方也担心当 $v_b > 1/2 + v_s/2$ 时交易不会发生，这种情况同样可以通过选择 $p_b = v_b$ 来避免。

似乎看起来不论是机制（2）还是机制（2′）都是无效率的。通常卖方对物品的效用评价要低于买方，但是交易还是没有发生，卖方以没有出售物品而告终，即便是当 $v_b > (1+v_s)/2$ 时。图 12—2 显示了在基于参数值的基础上，交易何时才能被完成。

就像你想象的一样，这是一个无效率的机制，其中一个原因是它没有有效利用买方的信息。下面的机制将会做得很好，它的交易规则称作**双边拍卖机制**（double auction mechanism）。就像第 10 章的格罗夫斯机制那样，我们试图提出一种基于代理人报告（代理人建议的价格）的行动规则（分配物品到买方或者卖方），在此情况下每个参与人都有自己的私人信息（他的效用评价）。

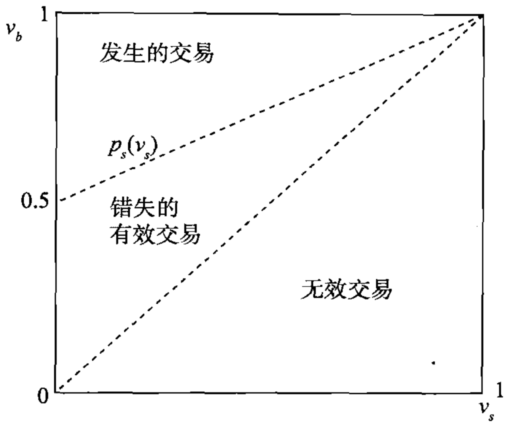


图 12—2　双边交易Ⅱ中的交易

双边交易Ⅲ：双边拍卖机制

参与人

一个买方和一个卖方。

博弈顺序

（0）自然独立选择卖方对物品的效用评价为 v_s，买方对物品的效用评价为 v_b。v_s、v_b 服从 0 和 1 之间的均匀分布。每个参与者的效用评价值是自己拥有的私人信息。

（1）买方和卖方同时决定是否要试着进行交易。

（2）如果双方同意试着交易，那么二者同时报价，卖方报价 p_s，买方报价 p_b。

（3）如果 $p_s \geqslant p_b$，物品分配到卖方；否则，分配到买方。交易发生的价格是 $p=(p_b+p_s)/2$。

支付

如果不存在交易，卖方所得支付为 0，买方所得支付为 0。如果存在交易，那么卖方所得支付为 $p-v_s$，买方所得支付为 v_b-p。

对于其选择的 p_b，买方的期望支付为

$$\left[v_b-\frac{p_b+E[p_s \mid p_b \geqslant p_s]}{2}\right][\text{Prob}\{p_b \geqslant p_s\}] \qquad (12.25)$$

既然 p_s 将随着 v_s 的变化而变化，在其期望中要取遍 v_s 的所有可能值。

对于其选择的 p_s，卖方的期望支付为

$$\left[\frac{p_s+E[p_b \mid p_b \geqslant p_s]}{2}-v_s\right][\mathrm{Prob}\{p_b \geqslant p_s\}] \qquad (12.26)$$

既然 p_b 将随着 v_b 的变化而变化，在其期望中要取遍 v_b 的所有可能值。

此博弈有许多纳什均衡解，我们关注其中的两个均衡，一个是**单一价格均衡**（one price equilibrium)，另一个是唯一的**线性均衡**（linear equilibrium)。

在单一价格均衡中，买方的策略是：对于某一值 $x \in [0,1]$，如果 $v_b \geqslant x$，则出价 $p_b=x$；否则，出价 $p_b=0$。卖方的策略是：如果 $v_s \leqslant x$，则出价 $p_s=x$；否则，出价 $p_s=1$。图 12—3 显示了对于某一特定值 x 的单一价格均衡。有效率的交易发生在阴影区域，但在区域 A 和 B 是缺失的。假定 $x=0.7$，如果卖方想要偏离均衡且要价低于 0.7，那么他将降低他所接受的价格。如果卖方想要偏离均衡且要价高于 0.7，那么 $p_s \geqslant p_b$ 且没有交易会发生。所以卖方不会偏离均衡。同理，对于任意的 x，也包括 0 和 1（此两点上交易绝不会发生)，买方也是如此。

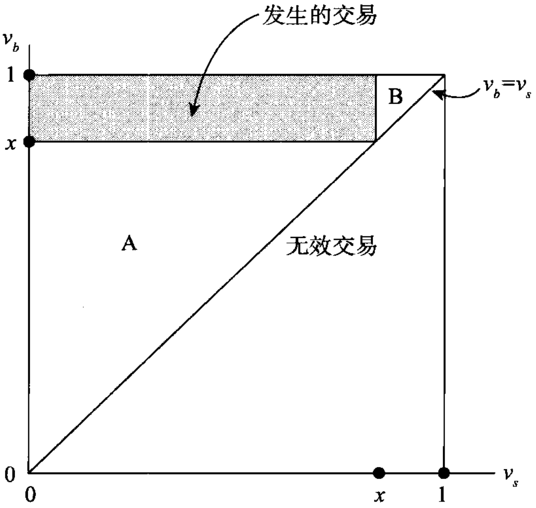


图 12—3　单一价格均衡中的交易

线性均衡可以被完整地推导出来。假定卖方采用一个线性策略，那么 $p_s(v_s)=\alpha_s+c_sv_s$。从买方的观点看，当 v_s 的范围是从 0 到 1，p_s 服从以 $1/c_s$ 为分布密度从 $\alpha_s=1/4$ 到 $(\alpha_s+c_s)=1/12$ 的均匀分布。既然 $E_b[p_s \mid p_b \geqslant p_s]=$
374 $E_b(p_s \mid p_s \in [\alpha_s, p_b])=(\alpha_s+p_b)/2$，那么买方的期望支付函数（12.25）变为

$$\left[v_b-\frac{p_b+(\alpha_s+p_b)/2}{2}\right]\left[\frac{p_b-\alpha_s}{c_s}\right] \qquad (12.27)$$

对于 p_b 最大化上式，得到

$$p_b=\left(\frac{2}{3}\right)v_b+\left(\frac{1}{3}\right)\alpha_s \tag{12.28}$$

因此，如果卖方采用一个线性策略，买方的最优反应也是采用一个线性策略！纳什均衡即将得到。

如果买方采用一个线性策略 $p_b(v_b)=\alpha_b+c_bv_b$，那么从买方的观点看，p_b 服从以 $1/c_b$ 为分布密度从 $\alpha_b=1/4$ 到 $(\alpha_b+c_b)=1/12$ 的均匀分布。既然 $E_s(p_b|p_b\geqslant p_s)=E_s(p_b|p_b\in[p_s,\alpha_b+c_b])=(p_s+\alpha_b+c_b)/2$，那么卖方的期望支付表达（12.26）变为

$$\left[\frac{p_s+\dfrac{p_s+\alpha_b+c_b}{2}}{2}-v_s\right]\left[\frac{\alpha_b+c_b-p_s}{c_b}\right] \tag{12.29}$$

对于 p_s 最大化上式，得到

$$p_s=\left(\frac{2}{3}\right)v_s+\frac{1}{3}(\alpha_b+c_b) \tag{12.30}$$

解联立方程式（12.28）和（12.30），得到

$$p_b=\left(\frac{2}{3}\right)v_b+\frac{1}{12} \tag{12.31}$$

$$p_s=\left(\frac{2}{3}\right)v_s+\frac{1}{4} \tag{12.32}$$

这里我们已经推导出了线性均衡。均衡策略在操作上表明，当且仅当 $v_b\geqslant v_s+1/4$ 时，交易才会发生。也就是说，当双方对物品评价值的差别足够大时，交易才会发生。线性均衡没能够实现全部的有效交易，因为有可能当 $v_b\geqslant v_s$ 时，却没有交易发生。但是线性均衡的确实现了评价值之差大于等于 1/4 的全部交易，如图 12—4 所示。

等式（12.31）的一个细节会让你感到迷惑。这个等式似乎在说，如果 $v_b=0$，那么买方将选择 $p_b=1/12$。如果这种情况发生，难道买方会出比自己的评价值还高的价格吗？这种情况可以成为均衡的一部分是因为这是一个弱的纳什均衡。既然卖方绝对不会选择比 $p_s=1/4$ 还低的出价，那么选择出价 $p_b=1/12$ 也是安全的，因为在这种选择下交易是不可能发生的。买方也可以用出价为 0 来替换 1/12，但他所用的就不是一个线性策略了。

线性均衡不是一个说真话的均衡。卖方没有报告他真实的评价值 v_s，而是报告 $p_s=(2/3)v_s+1/4$。但是我们可以复制说真话均衡的均衡结果。我们

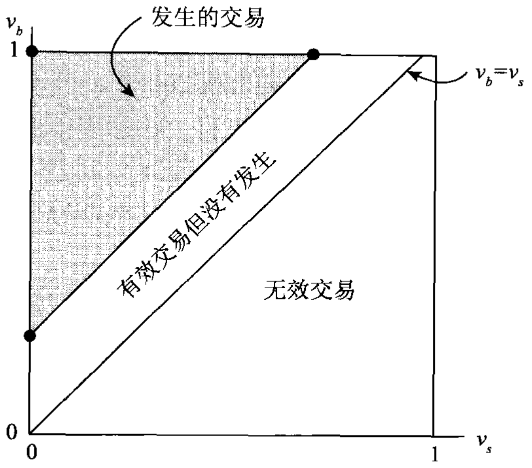


图 12—4　线性均衡中的交易

可以使买方和卖方同意向一位中立的仲裁者报告他们的真实评价值 r_b 和 r_s，然后仲裁者再选择交易的价格 p。仲裁者事先同意通过三个步骤来选择交易价格 p：(1) 就像前面的均衡一样，用 r_s 把 p_s 表示出来。(2) 像前面的均衡一样，用 r_b 把 p_b 表示出来。(3) 就像双边拍卖机制一样，用 p_b 和 p_s 来确定交易价格。在此机制下参与人都将向仲裁者说真话。下面我们比较一下原来的线性机制和这个说真话的线性机制。

恰特尔杰-萨缪尔森机制（Chatterjee-Samuelson mechanism）：如果 $p_s \geqslant p_b$，那么物品分配到卖方；否则，分配到买方。交易发生的价格是 $p=(p_b+p_s)/2$。

直接的激励相容机制（direct incentive-compatible mechanism）：如果
376 $(2/3)p_s+1/4 \geqslant (2/3)p_b+1/12$，也就是说，如果 $p_s \geqslant p_b-1/4$，那么物品分配到卖方；否则，分配到买方。交易发生的价格是

$$p=\frac{\left(\left(\frac{2}{3}\right)p_b+\frac{1}{12}\right)+\left(\left(\frac{2}{3}\right)p_s+\frac{1}{4}\right)}{2}=\frac{p_b+p_s}{3}+\frac{1}{6} \qquad (12.33)$$

我们已经把参与人的均衡策略替换成了机制本身，所以现在参与人将没有动机去谎报他们的信息。这个机制本身看起来很奇怪，因为它告诉我们，只有当 v_b 至少比 v_s 多 1/4 时，交易才会发生。但是当 $v_b > v_s$ 时，我们并没有采用那样的交易规则，因为那时参与人又将谎报他们的信息。只有说真话机制是起作用的，因为它不能惩罚说真话的参与人，并且为了不惩罚他们，就不能利用全部信息得到有效性。

在这个博弈中我们已经对买卖双方规定了交易规则，而不是让他们为自己决定什么才是最好的交易规则。迈尔森和萨特思韦特（Myerson & Satterthwaite，1983）证明了，在所有的均衡和预算平衡的机制中，双边拍卖机制中的线性均衡对参与人有着最高的期望支付，考虑事前的期望，即在自然选定类型之前。当参与人已经被指派了类型，此时机制就不是最优的了，而且其中一个参与人一旦知道了他的类型也许会对此机制感到不高兴。但是，至少他还愿意参加博弈。

如果参与人知道他们即将参加博弈，他们事先将会选择什么样的机制呢？当他们得知自己的类型之后，如果他们又不得不选择机制，那么他们对机制的选择意见会显示他们类型的信息。那么我们就有了在不完全信息条件下类似信号传递模型的一个讨价还价模型。但是如果他们在获知自己类型之前选择机制，且在获知类型之后他们不想利用此机制却又无权拒绝，他们又该怎样做呢？

一般而言，机制具有如下部分：

1. 每个代理人 i 同时报告价格 p_i。

2. 基于 p 的规则 $x(p)$ 决定行动（就像谁得到物品、是否要建桥）。

3. 每个代理人 i 接受一个激励转移支付 a_i，其转移支付在某些方面依赖于他自己的报告。

4. 每个代理人 i 接受一个预算平衡转移支付 b_i，其转移支付不依赖于他自己的报告。

我们令代理人的总转移支付为 t_i，所以 $t_i = a_i + b_i$。

在双边交易Ⅲ中，机制具有如下部分：

1. 每个代理人 i 同时报告价格 p_i。

2. 如果 $p_s \geqslant p_b$，物品分配到卖方；否则，分配到买方。

3. 如果没有交易存在，那么 $a_s = a_b = 0$；如果有交易存在，那么 $a_s = (p_b + p_s)/2$，$a_b = -((p_b + p_s)/2)$。

4. 因为激励转移支付平衡了预算，所以不再需要转移支付 b_i。

结果是，在双边交易的博弈中，如果参与人确定了他们的博弈机制，并 377
且同意在知道他们的类型之前试着去交易，那么会存在一个有效的预算均衡机制，并且其机制可以作为一个纳什均衡来实现。我们也会发现当参与人知道自己的类型以后，某个参与人可能会后悔加入到这个机制中来。

这实际是整体子博弈完美纳什均衡的一部分。机制设计的文献没有着眼于整个博弈，也不是要问："当作为一个博弈规则时，是否存在一个有效机制？"而是问："参与者选择的机制是否有效？"

双边交易Ⅳ：预期的外部机制

参与人

一个买方和一个卖方。

博弈顺序

（一1）买卖双方同意采用某一机制（$x(p)$，$t(p)$），其中 x 依赖于报出的价格 p，对代理人的支付为 t。p 和 t 是二维向量，x 决定物品是分配到买方还是卖方。

（0）自然独立选择卖方对物品的效用评价为 v_s，买方对物品的效用评价为 v_b。v_s、v_b 服从 0 和 1 之间的均匀分布。每个参与者的效用评价值是自己拥有的私人信息。

（1）买卖双方同时报价，卖方报价 p_s，买方报价 p_b。

（2）在机制中，用 $x(p)$ 来决定哪一方得到物品，用 $t(p)$ 来进行支付。

支付

如果参与人 i 得到了物品，那么他得到的支付为 v_i+t_i；否则，支付为 t_i。

（一1）部分中对买卖双方怎样对某一机制达成一致意见的说明是模糊的。机制设计的文献对此的说明也是模糊的，其关注有效性而不是支付的最大化。为了在说明上更严谨，我们令其中一个参与人来提出机制，另一个参与人来选择接受或者拒绝。提出机制建议的参与人将在机制中加入一个额外的转移支付来减少另一个参与人对其保留效用的期望支付。

我们用术语**行动剩余**（action surplus）来表示代理人从选择行动中得到的效用。

预期的外部机制（expected externality mechanism）对机制的每一个部分有如下目标：

1. 引导代理人报告真实的信息。
2. 选择有效率的行动。
3. 选择激励转移，使得代理人在均衡中选择报出真实的信息。
4. 选择预算平衡转移，所以激励转移合计达到零。

378 首先我将向你展示一个机制，且此机制可以达到上述目标。然后我将说明我是怎样得到这个机制的。考虑下面有三个部分的机制：

1. 卖方出价 p_s，买方出价 p_b。如果 $p_s \geq p_b$，卖方得到物品；否则，买方得到物品。

2. 卖方获得转移支付 $t_s=(1-p_s^2)/2-(1-p_b^2)/2$。

3. 买方获得转移支付 $t_b=(1-p_b^2)/2-(1-p_s^2)/2$。

预算平衡的表达式是：

$$\frac{(1-p_s^2)}{2}-\frac{(1-p_b^2)}{2}+\frac{(1-p_b^2)}{2}-\frac{(1-p_s^2)}{2}=0 \tag{12.34}$$

卖方的期望支付是他报告价格 p_s 的函数，等于他的期望行动剩余和期望转移之和。我们已经计算了他的转移支付，它不依赖于选择的行动。

如果只有当 $v_b>p_s$ 时，买方才能得到物品，那么卖方的行动剩余就为 0，并且因为在均衡时 $p_b=v_b$，所以这里我们用 v_b 来代替 p_b。这种情况发生的概率为 $1-p_s$。如果卖方得到物品，那么卖方的行动剩余为 0，这一情况发生的概率为 p_s，因此期望行动剩余为 p_sv_s。

因此，卖方的期望支付为

$$p_sv_s+\frac{(1-p_s^2)}{2}-\frac{(1-p_b^2)}{2} \tag{12.35}$$

关于其报价 p_s，最大化卖方的期望支付，得到

$$v_s-p_s=0 \tag{12.36}$$

所以此机制是激励相容的，即卖方会说真话。

如果买方报价较高，例如如果 $p_b>v_s$，那么买方的期望行动剩余为 v_b；否则，买方的期望行动剩余为 0。因此买方的期望支付为

$$p_bv_b+\frac{(1-p_b^2)}{2}-\frac{(1-p_s^2)}{2} \tag{12.37}$$

给定 p_s，最大化期望支付，得到

$$v_b-p_b=0 \tag{12.38}$$

所以此机制是激励相容的，即买方会说真话。

现在我们考虑怎样求出转移支付。预期的外部机制依赖于两种思路。

第一种思路是，为了得到激励权，每个代理人的激励转移支付会等于其他所有代理人的期望行动剩余之和。其中期望的计算依赖于：(1) 其他代理人要真实报价，(2) 自己代理人的报告。这使得代理人作用于其他代理人的外部性内部化。他的期望支付等于社会剩余。这意味着卖方的激励转移支付将等于买方的期望行动剩余。因此，通过均匀分布 F，卖方的转移支付可以 379

表示为

$$a_s=\int_0^{p_s}(0)\mathrm{d}F(v_b)+\int_{p_s}^1 v_b\mathrm{d}F(v_b)$$

$$= 0 + \left|_{p_s}^{1} \frac{v_b^2}{2}\right.$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{p_s^2}{2} \tag{12.39}$$

如果没有支付转移，那么第一个积分部分就是买方的期望行动剩余，因为买方的效用评价 v_b 小于卖方的报价 p_s，所以卖方保留了物品且买方的行动剩余为 0。如果买方得到物品，那么第二个积分部分是行动剩余，并且只有买方的效用评价 v_b（和他的报价 p_b）大于卖方的报价 p_s，这种情况才会发生。

我们可以用同样的方法来求买方的激励转移支付，也就是要找到卖方的期望行动剩余。

$$a_b = \int_0^{p_b} (0)\mathrm{d}F(v_s) + \int_{p_b}^{1} v_s \mathrm{d}F(v_s)$$

$$= 0 + \left|_{p_b}^{1} \frac{v_s^2}{2}\right.$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{p_b^2}{2} \tag{12.40}$$

如果卖方的效用评价 v_s 较低，那么很有可能买方的报价 p_b 会高于 v_s，因此交易很可能会发生，卖方的行动剩余也就为 0。如果卖方的效用评价较高，那么卖方就有可能得到一个正的行动剩余。

第二种思路是，为了达到预算平衡，每个代理人的预算平衡支付被用来支付其他代理人的激励转移支付。这里我们仅考虑有两个代理人的情况，因此，卖方的预算平衡转移支付不得不用来支付买方的激励转移支付。这其实很简单，仅设定卖方的预算平衡转移支付 b_s 等于买方的激励转移支付 a_b（同样地，可以设定 $b_b = a_s$）。

这个机制可以推广到有 N 个代理人的情况，于是会有 N 个报价 p_1，…，p_N。令行动选择为 $x(p)$，其中 p 是 N 维向量的报价，代理人 i 的行动剩余为 $W_i(x(p), v_i)$。为了使每个代理人的激励转移支付等于其他代理人的期望行动剩余之和，所以有

$$a_i = E\left(\sum_{j \neq i} W_j(x(p), v_j)\right) \tag{12.41}$$

因为预算平衡转移支付可以被选择，所以每个代理人的激励转移支付用均分其他 $N-1$ 个代理人的总成本来支付，

$$b_i = \left(\frac{1}{N-1}\right)\left(\sum_{j \neq i} E\left(\sum_{k \neq j} W_k(x(p), v_k)\right)\right) \tag{12.42}$$

380 当然也有其他的成本分割方法，但不管怎样仍然要求机制是激励相容的。然

而，均分成本是其中最简单的一种方法。

预期的外部机制中的确存在一个问题：参与约束。如果卖方知道 $v_s=1$，那么他将不想加入此机制。他的期望转移支付将是 $t_s=0-(1-0.5)^2/2=-0.125$。因此，他在机制中所得到的支付为 $1-0.125=0.875$，然而，如果他拒绝参加此机制，他可以得到的支付为 1。当代理人全都知道自己的类型，但不知道其他代理人的类型时，他们也许就会不想加入机制之中或者不想选择我们所希望的行动，我们说这种机制就不是**临时激励相容**（interim incentive compatible）的。

经济学家一般认为讨价还价在双边交易博弈中很少被构建，但有两种类型的讨价还价应当注意：一种是宽松规则下的讨价还价，就像你在行进中作出的一样；另一种是参与者在某种程度上事先决定的规则下的讨价还价。第二种类型的讨价还价在很多交易将被进行的市场中更普遍，并且当参与者主要的讨价还价发生在第一次谈判规则是很危险的情况下，第二种类型的讨价还价也是更普遍的。一旦讨价还价变成机制设计，那么它会很接近简单拍卖的理念。布洛和克伦佩雷尔（Bulow & Klemperer，1996）比较了两种销售条款的方法，结果发现拍卖的一个重要特征是包含了更多的交易者，这是一个重要的进步。

注

N12.2 纳什讨价还价解

- 有关讨价还价问题的合作博弈和非合作博弈的比较，参见 Binmore, Rubinstein & Wolinsky（1986）。有关合作博弈理论的综述，参见 Luce & Raiffa（1957）和 Shubik（1982）。
- 纳什讨价还价解可以推广到 n 个参与人（Harsanyi，1977，p. 196），但是，由于存在相互结盟的影响，问题增加了新的复杂性。夏普利值（Shapely，1953b）试图解决这个问题。

夏普利值（Shapley value）所计算的变量满足以下性质：不变性、匿名性、有效性和线性。令 S_i 为包含参与者 i 的**联盟**（coalition），即包括 i 在内的一群人缔结的共享协议。令 $v(S_i)$ 表示 S_i 中所有参与人的效用值的加总。$v(S_i-\{i\})$ 表示开除参与人 i 后 S_i 中剩余的人的效用值之和。参与人 i 的夏普利值因此等于

$$\phi_i=\frac{1}{n}\sum_{s=1}^{n}\frac{1}{c(s)}\sum_{S_i}[v(S_i)-v(S_i-\{i\})] \tag{12.43}$$

式中，S_i 的总人数为 s。夏普利值的实质在于，参与人 i 取得的收入等于其对所有可能的联盟的边际贡献的平均值。戈尔（Gul，1989）对此提供了一个非合作的解释。

N12.5 不完全信息

381 ● 非对称信息下的讨价还价问题引出了大量的文献。在早期的文献中，弗登伯格和梯若尔（Fudenberg & Tirole，1983）讨论了两类购买者和两类销售者的两阶段模型。索贝尔和高桥（Sobel & Takahashi，1983）讨论了买方具有连续性的类型，卖方只有一种类型的 T 阶段以及无限期的博弈模型。鲁宾斯坦（Rubinstein，1985a）讨论了两类买方和一类卖方的无限期模型，不同之处是，买方的类型差别不在于他们的效用不同，而在于他们的贴现率不同。萨缪尔森（Samuelson，1984）讨论了议价的一方比另一方更了解馅饼的大小时的情况。佩里（Perry，1986）讨论了在固定谈判成本和不对称信息下，双方轮流出价，而不是一方出价另一方接受或者拒绝的模式。有关的综述参见 Sutton（1986）和 Kennan & Wilson（1993）。

● 12.5 节中讨论的不对称信息只是单向的信息不对称：只有买方的类型是私人信息。弗登伯格和梯若尔（Fudenberg & Tirole，1983）以及其他人讨论过存在双向不对称时的模型：买方和卖方的类型都是私人信息。在这类模型中，一定的系数值可以支持多个完美贝叶斯均衡。因而，非均衡路径上的信念变得十分重要，这也是 6.2 节中提到外部精炼的原因。

N12.6 建立一种讨价还价的方法：迈尔森-萨特思韦特模型

● 双边交易模型源于 Chatterjee & Samuelson（1983，p. 842），其中也分析了当 $p=\theta p_s+(1-\theta)p_b$ 情况下更一般的机制。本文参照 Gibbons（1992，p. 158）对模型进行了描述。

● 对一般情况的讨论可以参见 Fudenberg & Tirole（1991a，p. 273）和 Mas-Colell，Whinston & Green（1994，p. 885）。我从 MWG 中借鉴了术语"预期的外部机制"。弗登伯格和梯若尔用"AGV 机制"或"AGV－阿罗机制"表示同一机制，因为这一思想首次出现在 D'Aspremont & Gerard-Varet（1979）和 Arrow（1979）中。也可以考虑加上依赖于选择性的额外成本（例如，如果商品被出售，存在从买方到卖方的转移税收）。参见 Fudenberg & Tirole（1991a，p. 274）。迈尔

森的著作（Myerson，1991）也值得一看。

习 题

12.1 谈判和拒绝的固定成本（中等难度）

史密斯和琼斯分 100 美元。在谈判的第一个回合中，史密斯提出，由自己留下 S_1 美元，琼斯要么接受，要么拒绝，出价费用为零。在第二个回合中，琼斯提出给史密斯 S_2 美元，史密斯要么接受，要么拒绝，出价费用为 10 美元。在第三个回合中，史密斯提出自己得到 S_3 美元，琼斯要么接受，要么拒绝，出价费用为 c。如果没有任何一项提议被双方接受，这 100 美元则由第三者——杜勃所有。

（a）如果 $c=0$，均衡的结果是什么？

（b）如果 $c=80$，均衡的结果是什么？

（c）如果 $c=10$，均衡的结果是什么？

（d）如果 $c=0$，但琼斯非常情绪化，假设史密斯提出由自己持有这 100 美元，琼斯可能蔑视史密斯并将这 100 美元给杜勃。假设史密斯非常了解琼斯的性格。在这种情况下，均衡的结果是什么？

12.2 卖车（中等难度）

一个汽车经销商每增加一辆汽车的存货就将付给厂商 10 000 美元。当前，382
他有三个买家。从经销商的角度来看，史密斯的效用值在 11 000 美元和 21 000美元之间均匀分布；琼斯的效用值在 9 000 美元和 11 000 美元之间均匀分布；布朗的效用值在 4 000 美元和 12 000 美元之间均匀分布。经销商的策略是，给每个消费者提供一个简单的价格，消费者可以接受，否则只有放弃。由于消费者之间可以相互买卖，经销商没有必要订立不同的价格。令 $\bar{V}$ 为最大的效用值，R 为效用值区间。

（a）经销商订立的价格是多少？

（b）谁最有可能买汽车？与完全信息下价格歧视的结果相比，有何不同？与经销商出价 10 000 美元的结果相比，有何不同？

（c）如果每个购买者的效用值都有 0.25 的可能性为 0，其他的概率分布保持不变，均衡价格将如何变化？

12.3 纳什讨价还价解（中等难度）

史密斯和琼斯被困荒岛，他们唯一的供给是 100 磅的玉米粉和 100 品脱的

糖蜜。史密斯的效用函数是 $U_s = C + 0.5M$，琼斯的效用函数是 $U_j = 3.5C + 3.5M$。如果他们不能达成分配协议，那么只能通过决斗，败者的效用 $U = 0$。琼斯获胜的概率为 0.8。

(a) 谈判的退出点是多少？

(b) 供给平分时，各自的效用是多少？这是帕累托有效的吗？

(c) 在效用空间上画出退出点和帕累托边界（将 U_s 作为横轴）。

(d) 根据纳什谈判解，两人的效用各为多少？食品如何分配？

(e) 假设史密斯发现了一本有关如何烹饪糖蜜和玉米粉的书，他的效用函数变为 $U_s = 10C + 5M$。证明分配的结果仍同 (d) 中的结论一致，尽管他的效用函数改进了。

12.4 价格歧视和讨价还价（容易）

一个卖方，其边际成本为常数 c，面临连续的消费者，用线性需求曲线 $Q^d = a - bP$ 表示，这里 $a > c$。每个消费者只需求 0 或者 1 个单位，所以如果在价格为 13 时连续的消费者使得购买发生在 1 和 2.5 之间，我们说价格为 13 时会卖出 1.5 个单位。

(a) 如果卖方选择一个要么接受—要么放弃价格，他的利润是多少？

(b) 如果卖方选择一个连续的要么接受—要么放弃价格，即每个消费者对应一个价格，他的利润是多少？（可以考虑一个价格函数，因为这里每个消费者都无限小。）

(c) 如果卖方和每个消费者讨价还价，也得到一个连续的价格，他的利润是多少？你可以假设讨价还价成本是 0，并且卖方和买方具有相同的讨价还价能力。

12.5 固定谈判成本和不完全信息（中等难度）

383 在第 (c) 问之前，这一习题与习题 12.1 完全相同。史密斯和琼斯分 100 美元。在谈判的第一个回合中，史密斯提出，由自己留下 S_1 美元，琼斯要么接受，要么拒绝，出价费用为零。在第二个回合中，琼斯提出给史密斯 S_2 美元，史密斯要么接受，要么拒绝，出价费用为 10 美元。在第三个回合中，史密斯提出自己得到 S_3 美元，琼斯要么接受，要么拒绝，出价费用为 c。如果没有任何一项提议被双方接受，这 100 美元则由第三者——杜勃所有。

(a) 如果 $c = 0$，均衡的结果是什么？

(b) 如果 $c = 80$，均衡的结果是什么？

(c) 如果琼斯只知道 $c = 0$ 和 $c = 80$ 以相同的概率发生，只有史密斯知道

真实值，则第二轮和第三轮均衡的结果是什么？（也就是说，S_2 和 S_3 分别是多少？每个参与人采用了怎样的策略？）

（d）如果琼斯只知道 $c=0$ 和 $c=80$ 以相同的概率发生，只有史密斯知道真实值，则第一轮均衡的结果是什么？（提示：均衡用到了混合战略。）

12.6 固定谈判成本（容易）

Apex 公司和 Brydox 公司想成立一家能盈利 5 亿美元的跨国公司，但事先必须谈好如何分成。在谈判的第一个回合中，Apex 公司提出，由自己留下 A_1，Brydox 公司要么接受，要么拒绝，出价费用为 0。在第二个回合中，Brydox 公司提出给 Apex 公司 A_2，Apex 公司要么接受，要么拒绝，出价费用为 1 000 万美元。在第三个回合中，Apex 公司提出自己得到 A_3，Brydox 公司要么接受，要么拒绝，出价费用为 c。如果没有任何一项提议被双方接受，则合作无法继续。

（a）如果 $c=0$，均衡是什么？均衡的结果怎样？

（b）如果 $c=10$，均衡是什么？均衡的结果怎样？

（c）如果 $c=300$，均衡是什么？均衡的结果怎样？

12.7 迈尔森-萨特思韦特模型（中等难度）

一片土地的所有者对其土地的估值为 v_s，一个潜在的买者对土地的估值为 v_b。买卖双方都不知道对方的估值，但是他们会猜想估值服从 0 和 1 之间的均匀分布。买卖双方同时出价，卖方出价 p_s，买方出价 p_b，并且双方都同意如果 $p_s \leqslant p_b$，土地将以价格 $p=(p_b+p_s)/2$ 卖给买方。

如果实际估值为 $v_s=0.2$，$v_b=0.8$，那么在给定估值的情况下，博弈的一个均衡结果是什么？其讨价还价的过程是怎样的？为什么这种情况会发生？

12.8 谈判（难）（Rasmusen，2002）

出价方和受价方商议合同中的某些条款。他们已经对合同的基本内容达成一致意见，对于盈余 Z，他们会对其进行平分。出价人可以以 C 为成本来提出一项附加条款，对于此附加条款，受价方可以选择立即接受，也可以立即拒绝，但是如果要仔细思考，就必须花费成本 M。额外的条款有可能是“诚挚性的”，也可能是“误导性的”。如果条款是“诚挚性的”，那么如果接受，出价方会得到 X_g，受价方得到 Y_g；如果条款是“误导性的”，那么如果接受，出价方会得到 $X_m(X_m>X_g>0)$，受价方得到 $-Y_m<0$。

均衡的结果是怎样的？

工人讨价还价博弈：第 12 章的课堂博弈[3]

384 目前，一个雇主每年给工会成员每人支付 46 000 美元的工资，但是工会已经告诉会员 68 000 美元的年工资才是更加公平的。年工资每增加 1 000 美元，雇主的成本将增加 3 000 万美元，而工人获得的总额为 2 500 万美元（减少的 500 万美元变成税收，这种税收对工人更重）。

如果工人罢工，罢工者未实现的收入中将减少 2 500 万美元，并且罢工还将导致雇主损失 6 000 万美元的利润，假设利率很低，以至于在这个博弈中可以忽略。

讨价还价博弈规则如下。5 月 1 日（时刻 0）工会先提出要求，雇主接受或拒绝。如果雇主接受要求，就不会发生罢工；如果雇主拒绝，下周将发生罢工，但是雇主可以在 5 月 8 日（时刻 1）提出一个还价办法——如果被工会接受，罢工将持续一周后结束；如果被拒绝，工会将在下周内 5 月 15 日（时刻 2）提出反向要求。

7 周的罢工后（时刻 7），工人的信用和银行账户将消耗完毕，这时如果没有签订其他的协议，工会将接受 46 000 美元的工资，比这更低的工资将因为工人拒绝而不被接受。

学生将被分成三组，分别代表雇主和工会。雇主组和工会组同时结成小组参加游戏。每组的目标就是最大化自己的支付。组织者在黑板上设置一块地方记录每周的出价。如果一个小组不能达成一致意见或者没有及时地写在黑板上，将丧失那一周提出要求的机会。每个出价必须以 1 000美元为单位，52 932 美元是不允许的。

【注释】

[1] 定理 12.1 的证明并非源于 Rubinstein（1982），而是来自 Shaked & Sutton（1984）。最大值而不是上确界可以被应用，是因为在这里我们假定无差异的参与者总是接受出价。

[2] 通常，有效率的均衡并不是唯一的。另一种均衡可以是，买卖双方全都报告 $v_s=0.5$，$v_b=0.4$，这样产生的支付为 0，且交易不可能发生。如果某一个参与人单方面偏离了均衡，将会遭受惩罚，其所得的支付将为负数。

[3] 此博弈改编自维加·克利斯纳（Vijay Krishna）的一个课堂博弈。

第13章
拍　卖

13.1　私人和共同价值，连续和离散估价

布洛和克伦佩雷尔（Bulow & Klemperer，1996）认为讨价还价与拍卖是 385
多种销售商品方式中的两种极端形式。在讨价还价中，一个购买者对应一个销售者，他们按照我们在理论模型中施加的正规规则自由买卖（尽管布洛和克伦佩雷尔认为，如果存在参与人都遵循的讨价还价规则，那么将会发生什么是值得讨论的）。在典型的拍卖中，许多投标人对应一个拍卖方，他们遵循像理论家一样严格的正规规则提供报价。

在不同的假设条件下讨价还价模型有不同的结果，通常它很难与现实的情形相匹配，它的实践意义来自于最简单的模型，诸如避免误解的重要性，决定，接下来隐藏某人自己的保留价格、诈骗和操纵报价时机这些想法。

另一方面，在不同的假设条件下拍卖模型有不同的结果，通常它很容易与个别现实的情形相匹配，甚至创造现实的情形与模型相匹配。这是因为拍卖不仅与讨价还价一样随着参与者偏好的不同而变化，它还用特别的规则进行博弈，这些规则由参与者之中的一人提出，通常对他们都具有法律约束力。从而拍卖理论使自己具有了如阿尔文·罗思（Alvin Roth，2002）所说的“经济学家如同工程师”：应用技术经济学理论为特殊的情形设计规则。与其他工程学一样，结果可能不具有普遍意义，但设计模型使之符合实际情况既有诀窍又有价值，需要与提出普遍理论一样的才智和细心。

因为拍卖是规则明晰、规范化的市场，所以用博弈论来模型化拍卖是非常合适的。人们选择拍卖的动机和不完全信息合同（本书第二部分）下的动
386 机很类似，除了提高交易速度这类很现实的原因之外，拍卖还能够很好地解决一些信息方面的问题。投标人通常比拍卖方更清楚物品对他自己的价值，因此拍卖方就试图通过拍卖来获取更多的信息，而不是自己先要价。艺术品拍卖就是一个很好的例子，投标人的喜好决定了一幅画对他的价值，而这一信息只有投标人自己知道。有效资源配置是与利润最大化不同的目标，但拍卖对此也有用。一个较好的例子可参见博伊斯与哈佩尔（Boyes and Happel）在 1989 年的发表文章：《学术界中作为配置机制的拍卖：以学院办公室为例》（"Auctions as an Allocation Mechanism in Academia: The Case of Faculty Offices"）。在他们的商学院，经济系利用拍卖分配办公室，而管理系利用资历，统计系利用掷骰子，金融系利用张贴无通知的先到先得先签名的表格。拍卖是最直接的有效资源配置的最佳方式。（我为什么说"最直接的"？为何在长期也可能保持相同的结果？）

拍卖对解决代理问题也是有帮助的，因为它能够阻止不诚实交易。如果一个市长能不受约束地为即将建造的市政厅选择建筑商和价格，那么得到合同的幸运者可能就是提供政治捐款最多的商人。但是，如果由建筑商公开投标来竞争这个工程的话，欺骗公众就要困难得多，而市长在投标中作弊所遇到的困难可能会超过他在政治上得到的收益。

在本章的大部分内容中我们将讨论不同的拍卖规则从投标人那里榨取剩余的有效性，这需要获取投标人对规则作出反应所采取的策略。13.1 节根据投标人对被拍卖物品的不同估价把拍卖分为不同的类别。13.2 节是必需的篇幅非常长的章节，分析了可能的拍卖规则以及对这些规则的最优竞标策略。13.3 节比较了不同规则下的结果，提出了收益等价定理并说明它在投标人为风险厌恶者的情况下是无效的。13.4 说明了如何应用最优拍卖和垄断定价的相似性来选择最优保留价格。13.5 节分析了共同价值拍卖，此时那些不够谨慎的投标人可能会遇到所谓"赢家诅咒"的麻烦。13.6 节讨论了非对称均衡（钱夹博弈）和信息关联问题。

私人价值和共同价值拍卖

拍卖之间存在着很大的差别，因此有必要把它们分成若干类别。一个较常用的分类标准是基于投标人赋予被拍卖物品的不同价值。我们把投标人 i 从物品上得到的效用折算成美元 v_i，称为物品对他的**价值**（value）。我们用 $\hat{v}_i$ 表示他对自己所得到的价值的估计。

在**私人价值拍卖**（private-value auction）中，每个投标人都不能从其他

投标人的估价中得到任何有用的信息。例如将古董桌椅出售给不再准备再次出售的购买者。通常私人价值拍卖模型中投标人的价值等于他的估价。如果一次拍卖是私人价值拍卖，它就不能通过无成本的再出售得到物品。如果发生了再出售，则投标人的价值将依赖于他能再出售的价格，该价格也同时依赖于其他投标人的价值。私人价值拍卖的特别之处在于，投标人不能从其他投标人的估价中得到任何对自己的估价有用的信息。尽管事先知道了其他投标人对物品的估价可能会改变投标人自己的出价策略，但是却不会改变他自己对于该物品的估价。所以我们区分**独立私人价值拍卖**（independent private-value auction）和**关联私人价值拍卖**（affiliated private-value auction），其中独立私人价值拍卖中投标人只知道自己的估价而对其他投标人的估价一无所知，关联私人价值拍卖（关联的概念随后给出）中投标人可以利用自己估价的知识去推断其他投标人的估价。 387

在**完美共同价值拍卖**（pure common-value auction）中，物品对于每个投标人的价值都是相同的，但是不同的投标人根据自己的私人信息分别形成各自对物品的估价。例如，美国的国库券拍卖就是一种共同价值拍卖。因为所有的投标人都试图估计被拍卖物品的真实价值，所以某个投标人会悄悄地去获知其他投标人的估价，因为他们都试图估计为相同的价值。

在现实世界中的拍卖估价都是私人估价与共同估价的组合，因为不同的投标人的估价是正相关的而非独立的。因此在建构模型时，我们不得不在准确性和简洁之间作出权衡。通常经济学家称这种混合拍卖为“共同价值”拍卖，因为它们与共同价值拍卖的特性非常相近。克里希纳（Krishna，2002）曾用**相依价值**（interdependent value）来定义这种情况。

私人价值/公共价值拍卖是关于投标人如何获知自己的估价，但拍卖的另一方面是投标人如何获知其他投标人的估价。估价是共同知识就是一种可能的情形。

这简化了最优投标。在私人价值拍卖中，最高估价投标人的报价只需要比次高估价投标人高一点就可以了。在公共价值拍卖中，投标人将要考虑其他投标人的信息和他们的估价并在所有可获得的信息基础上使之收敛到唯一的、最合适的共同估计值。无论哪种情况下，投标人都不必担心其他投标人利用观察投标过程中获得的信息进行高明的推断。

当然在现实中拍卖方能观测到投标人的估价是比较奇怪的。在这种情况下，拍卖方不需要拍卖，而是直接向出价最高的投标人索价，他知道该价格能被投标人中的一人所接受。

更一般的情况是，只有投标人知道自己的估价，而其他投标人和拍卖方不知道。最简单的情形是估价是统计独立的，在本章的前半部分我们将分析

独立的私人估价的情形。如果估价是独立的，投标人关于他自己价值的信息来源是私人信息，他关于其他投标人估价的信息来源只能通过他们的竞标。如果估价不是独立的，一个投标人可以利用他的私人信息来估计其他投标人的估价（以及他们如何竞标），如果他不完全知道自己的估价，他可以利用他观测到的其他人的估价来改善自己的估价，这就是我们所说的共同价值的情形。

当然，在私人价值拍卖中也会出现缺乏统计独立的情形。史密斯或许不完全知道自己的估价，他也不能从琼斯的估价中得到任何信息，这就是私人价值拍卖的情形。但如果估价不是独立的，如它们是正相关的，这时史密斯如果知道自己的估价是非常高的，他就会预测琼斯的估价也是高的。这样会影响史密斯的竞标策略，虽然这不影响他对出售商品的最高支付意愿。在此我不准备分析相关估价情形下的私人价值拍卖，但如雷利（Reley，1989）所解释
388 的，它们的差异很重要。虽然当估价相关时，出价在随后讨论的升价和二级价格拍卖中保持不变，但在降价和一级价格拍卖中竞标价格将降低。与之对照，即使在升价和二级价格拍卖中，共同价值拍卖的报价也比私人价值拍卖保守。

为了了解各种拍卖规则，我们将利用如下两个博弈模型，既然拍卖规则能很好地适合这种情形，我将用机制设计的语言来建模。当估价离散时（$v=10$ 或 $v=16$）我们将以十一十六拍卖模型为例；当估价在 $[\underline{v},\bar{v}]$ 上连续时（$v\sim f(v)$），我们用连续估价拍卖模型。

十—十六拍卖

参与人

一个拍卖方和两个投标方。

博弈顺序

（0）自然选择投标方 i 以相同的概率对物品进行估价：$v_i=10$ 或 $v_i=16$。（拍卖方的价值为 0。）

（1）拍卖方选择机制 $[G(\tilde{v}_i,\ \tilde{v}_{-i})v_i-t(\tilde{v}_i,\ \tilde{v}_{-i})]$，支付为 t 并以 G 的概率将物品转移给参与者 i（包括拍卖方），如果他宣布他的估价是 $\tilde{v}_i$ 而另一个参与者宣布他的估价是 $\tilde{v}_{-i}$。拍卖方还要选择投标方选择 $\tilde{v}_i$ 的程序（序贯的、同时的等）。

（2）每个投标方同时选择参加该拍卖或放弃。

（3）投标方和拍卖方根据机制程序选择。

（4）根据机制分配物品转移支付。

支付

拍卖方的支付是

$$\pi_s = \sum_{t=1}^{n} t(\tilde{v}_i, \tilde{v}_{-i}) \tag{13.1}$$

投标方 i 如果没有参加竞标，他的支付为 0，其他情况下他的支付为

$$\pi_i(v_i) = G(\tilde{v}_i, \tilde{v}_{-i})v_i - t(\tilde{v}_i, \tilde{v}_{-i}) \tag{13.2}$$

为处理开集问题，我们假定所有拍卖规则对最高估价者来说所有节点都是中断的，或者当估价相等时可随机选取。如若不然，例如我们说节点是分离获胜概率的分界点，那么如果 $v_1=10$ 和 $v_2=16$ 并且这些对两个投标人都是共知的，这就不仅只有一个弱均衡，当他们分别竞价 $p_1=10$ 和 $p_2=10$ 时， 389
因为投标人 2 可以偏离而给出稍微高一点的竞价，但如果竞价的增加量可以无穷小划分，严格大于 10 的最小竞价是不存在的。

第二个博弈给出了估价连续情形下的例子。

连续估价拍卖

参与人

一个拍卖方和两个投标方。

博弈顺序

(0) 自然在区间 $[\underline{v}, \bar{v}]$ 上以严格正的密度函数为 $f(v)$ 选择投标人 i 对物品的估价。

(1) 拍卖方选择机制 $[G(\tilde{v}_i, \tilde{v}_{-i})v_i - t(\tilde{v}_i, \tilde{v}_{-i})]$，支付为 t 并以 G 的概率将物品转移给参与者 i（包括拍卖方），如果他宣布他的估价是 $\tilde{v}_i$，而另一个参与者宣布他的估价是 $\tilde{v}_{-i}$。拍卖方还要选择投标方选择 $\tilde{v}_i$ 的程序（序贯的、同时的等）。

(2) 每个投标方同时选择参加该拍卖或放弃。

(3) 投标方和拍卖方根据机制程序选择 $\tilde{v}$。

(4) 根据机制分配物品和转移支付。

支付

拍卖方的支付是

$$\pi_s = \sum_{t=1}^{n} t(\tilde{v}_i, \tilde{v}_{-i}) \tag{13.3}$$

投标方 i 如果没有参加竞标，他的支付为 0，其他情况下他的支付为

$$\pi_i(v_i) = G(\tilde{v}_i, \tilde{v}_{-i})\tilde{v}_i - t(\tilde{v}_i, \tilde{v}_{-i}) \tag{13.4}$$

许多可能的拍卖程序符合机制范式，即使它们从没有在实践中应用过。例如，一个机制可以以 70%的概率将物品分配给最高价投标人，以 30%的概率将物品分配给最低价投标人；或者每个投标人需要支付他所竞标的数量，即使他是亏损的；或者 t 包括进入费用；或者有一个“保留价格”，即拍卖方愿意卖出物品的最低竞标价格。在这些分析中，拍卖方选择一个直接机制使得每个投标类型为 v_i 的投标人都满足参与约束（如果进入费用不
390 是很高，投标人 i 将参加拍卖）和激励相容约束（投标人愿意如实显示自己的类型：$\tilde{v}_i = v_i$）。

13.2 私人价值拍卖中不同规则下的最优策略

拍卖如同打扑克一样有许多令人眼花缭乱的规则。为简单起见，我们将利用私人价值框架来考察五种不同的拍卖规则。在讲授这一部分内容时，我和学生们模拟了各种形式的拍卖，然后让学生们在 80～100 之间分别选择各自的估价，并根据不同的拍卖规则选择相应的策略。我建议读者也可以试一下，选取两个估价，再根据不同的拍卖规则选择相应的策略。我们的实验清楚地表明：即使在私人价值拍卖的情况下，参与人最优的出价策略也取决于他所认为的其他参与人所采取的策略。

我们介绍五种形式的拍卖规则（连同它们的同义词）：

1. 升价拍卖（英国式拍卖、公开退出拍卖、公开喊价拍卖）；
2. 一级价格拍卖（最高价格密封出价拍卖）；
3. 二级价格拍卖（次高价格密封出价拍卖，维克瑞拍卖）
4. 降价式拍卖（荷兰式拍卖）；
5. 全付拍卖。

升价拍卖（英国式拍卖、公开退出拍卖、公开喊价拍卖）

规则

买者可以自由地提高自己的出价。如果没有买者想再进一步提高自己的出价，那么出价最高的买者支付他所出的价格，并得到物品。

策略

参与人的策略是一个出价序列。这个出价序列是以下三者的函数：(1) 物品对该参与人自己的价值；(2) 该参与人有关其他参与人对物品估价的先验估计；(3) 所有参与人的出价行为。参与人会根据他的信息集的变化调整他自己的出价。

支付

赢得拍卖的参与人的支付是物品对他的价值减去他的最高出价。失掉拍卖的参与人的支付是零。

讨论

在私人价值的升价拍卖里，投标人的优势策略是使自己一直参加竞标，直到出价高于他自己对物品的估价为止。该策略是最优的，因为只要物品的价格低于物品对于投标人的价值，投标人就总是想把物品买下来，当然他也希望付出尽可能低的价格。当出价高到仅次于最高估价的次高估价时，所有的竞价结束。但是如果投标人确切地知道物品的确定价值，那么最优策略与投标人的风险中立是无关的，尽管正如随后我们将看到的，风险规避的投标人对物品作出估价时更为谨慎。

升价拍卖中的最优私人价值策略非常简单，弄清它的细节也毫无困难， 391
但这里有多种可能性。

1. **公开退出**（open exit）拍卖：在公开退出拍卖里价格连续提高，投标人不退出表明他愿意支付该价格，当他退出时必须向其他投标人公开声明退出拍卖。

2. **沉默退出**（silent-exit）拍卖（我创造的新词汇）：在沉默退出拍卖里价格连续提高，投标人不退出表明他愿意支付该价格，当他退出时无须向其他投标人声明退出拍卖。

3. **eBay 拍卖**（eBay auction）：投标人提交他的“竞价上限”，即他愿意支付的最高价格。在拍卖过程中如有必要，拍卖方可以提高竞价上限，以超越当前最高竞标者的价格，在规定的结束时间内竞价最高的参与人赢得拍卖。

4. **亚马逊拍卖**（Amazon auction）：投标人提交他的“竞价上限”，在拍卖过程中如有必要，拍卖方可以提高竞价上限，以超越当前最高竞标者的价格，在规定的结束时间内竞价最高的参与人或在当前赢得拍卖者最后提高价格 10 分钟后出价最高的参与人，两者中更晚出现的赢得拍卖。

在共同价值拍卖中准确的方法非常重要，知道其他投标人的所作所为可以改变一个投标人自己的估价。例如在公开退出拍卖中一个投标人观察到大多数其他投标人在低价时退出，他可能会调低自己的估价，而在沉默退出拍卖中则做不到。

升价拍卖可以看成这样一种机制，其中每个投标人公布他的估价（从而成为竞标价格），物品分配给公布的最高估价的人（即最高竞价），他支付次高估价（次高竞价）。在连续价值拍卖中，用 $\tilde{v}_{(1)}$ 表示公布的最高估价，

$\tilde{v}_{(2)}$ 表示次高估价，其余依此类推。最高估价的人以 $t(\tilde{v}_{(1)},\tilde{v}_{-1})=\tilde{v}_{(2)}$ 的价格、$G(\tilde{v}_{(1)},\tilde{v}_{-1})=1$ 的概率得到物品，对 $i\neq 1$，$G(\tilde{v}_{(i)},\tilde{v}_{-i})=0$ 以及 $t(\tilde{v}_{(i)},\tilde{v}_{-i})=0$ 。* 这满足激励相容条件，因为只有当参与人的估价是最高时，他公开的竞价才是至关重要的，并且当且仅当价格不高于他的估价时，他才想赢得拍卖。同时这也满足参与约束，因为遵循该策略，他的最低支付是零，如果他赢得拍卖，可获得较高的支付（$\tilde{v}_{(1)}>\tilde{v}_{(2)}$）。

因为每个投标人都希望获得严格正的支付，拍卖方的最优机制就比较复杂。在随后的讨论中，我们将看到还必须包括一个**保留价格**（reserve price）p^*，低于该价格物品就不会出售，将上述机制的第一部分改变为 $G(\tilde{v}_{(1)},\tilde{v}_{-1})=1$ 以及 $t(\tilde{v}_{(1)},\tilde{v}_{-1})=\mathrm{Max}\{\tilde{v}_{(2)},p^*\}$，如果 $\tilde{v}_{(1)}\geqslant p^*$；但 $G(\tilde{v}_{(1)},\tilde{v}_{-1})=0$，如果 $\tilde{v}_{(1)}<p^*$。在第 10 章我们看到最优机制并不总是有效的，在这里也是如此：如果 $\tilde{v}_{(1)}<p^*$，物品将不能出售。

在十—十六拍卖中，拍卖方的价值是 $v_s=0$，两个投标人的私人价值 v_1 和 v_2 以相等的概率取 10 或者 16，并且只有投标人自己知道。在升价拍卖中，一个投标人的最优策略是将他的竞价或最高竞价设定为 $p(v=10)=10$ 和 $p(v=16)=16$，他的期望支付是

$$\pi(v=10)=0$$
$$\pi(v=16)=0.5(16-10)+0.5(16-16)=3 \qquad (13.5)$$

392 期望价格和拍卖方的支付为

$$\pi_s=(0.5)^2\times 10+(0.5)^2\times 16+2\times(0.5)^2\times 10=2.5+4+5=11.5 \qquad (13.6)$$

一级价格拍卖（最高价格密封出价拍卖）

规则

每个投标人在不知道其他投标人竞价的情况下提交一个竞价，最高竞价投标人支付他的竞价并获得物品。

策略

投标人的策略是，他的竞价是他的价值的函数。

支付

赢得拍卖的投标人的支付是物品对他的价值减去他的投标价。失掉拍卖的投标人的支付是零。

* 原书为 $t(\tilde{v}_{(1)},\tilde{v}_{-1})=0$，疑有误。——译者注

讨论

在一级价格拍卖中想赢得拍卖的投标人要提交一个比次高价格高的投标价。如果所有投标人的估价是共同知识，他可以完全预测次高价格，这是一个简单的问题。如果估价是私人信息，他必须猜测次高价格，当然这要冒风险。他必须在高投标价从而赢得拍卖的机会大与赢得拍卖的低投标价从而获利大之间作出权衡。他的最优策略依赖于他的风险规避程度和他对其他投标人的推断，所以均衡对模型中假定的不犯错误的稳定性要比升价拍卖和二级价格拍卖的均衡低。当然我们随后会看到，拍卖方之所以经常选择最高价格拍卖还是大有原因的。

连续分布价值下的最高价格拍卖

假设自然独立对 n 个风险中立投标人按连续密度为 $f(v)$ 的函数（在 $[0,\bar{v}]$ 上的累积分布为 $F(v)$）分配价值。

一个投标人的支付是他的价值 v 的函数，他的投标价函数 $p(v)$ 也是 v 的函数，令 $G(p(v))$ 表示对每个特定的 $p(v)$ 赢得拍卖的概率：

$$\pi(v,p(v))=G(p(v))[v-p(v)] \tag{13.7}$$

我们先证明如下引理。

引理 13.1 如果参与人的投标价函数是可微的，那么它是他的价值的严格增函数：$p'(v)>0$。

证明：由（13.7）式得到一阶条件为

$$\frac{\mathrm{d}\pi(v)}{\mathrm{d}p}=G'(v-p)-G=0 \tag{13.8}$$

该问题的最优解是内点解，因为在 $p_i=0$ 时支付是递增的，并且 p_i 足够大时 π 是负的。从而在最优解处 $\mathrm{d}^2\pi(v_i)/\mathrm{d}p_i^2\leqslant 0$。应用隐函数定理以及 393
$\mathrm{d}^2\pi(v_i)/\mathrm{d}p_i\mathrm{d}v_i=G\geqslant 0$，这是因为一个高的投标价格不会产生一个赢得拍卖的低概率，如果投标价函数是可微的，我们可以推出 $\mathrm{d}p_i/\mathrm{d}v_i\geqslant 0$。但 $\mathrm{d}p_i/\mathrm{d}v_i=0$ 不成立，因为如果成立，则有价值 v_1 和 v_2 使得 $p_1=p_2=p$ 成立，则

$$\begin{aligned}\frac{\mathrm{d}\pi(v_1)}{\mathrm{d}p_1}&=G'(p)(v_1-p)-G(p)=0=\frac{\mathrm{d}\pi(v_2)}{\mathrm{d}p_2}\\&=G'(p)(v_2-p)-G(p)\end{aligned} \tag{13.9}$$

这是不正确的，所以投标人的投标价格随着他的价值的增加而增加。证毕。

现在我们求解均衡投标价格函数，由（13.7）式可得：

$$p(v) = v - \frac{\pi(v, p(v))}{G(p(v))} \tag{13.10}$$

因为等式两边都有 $p(v)$，这不是很有用，我们必须将 π 和 G 仅表示为 v 的函数。

首先处理 $G(p(v))$。投标价格函数的单调性（见引理 13.1）表明具有最高价值的投标人将给出最高的投标价赢得拍卖，从而投标人以价格 p_i 赢得拍卖的概率 $G(p(v))$ 是 n 个投标人中 v_i 为最高价值的概率。一个投标人的价值 v 是最高价值的概率为 $F(v)^{n-1}$，这也是其他 $n-1$ 个投标人的价值都低于 v 的概率。从而

$$G(p(v)) = F(v)^{n-1} \tag{13.11}$$

接下来考虑 $\pi(v, p(v))$。包络定理表明，如果 $\pi(v, p(v))$ 是通过选择 $p(v)$ 最大化的函数值，则它对 v 的全导数等于对 v 的偏导数，因为 $\partial\pi/\partial p = 0$。从而

$$\begin{aligned}\frac{\mathrm{d}\pi(v, p(v))}{\mathrm{d}v} &= \frac{\partial\pi(v, p(v))}{\partial p}\frac{\partial p}{\partial v} + \frac{\partial\pi(v, p(v))}{\partial v} \\ &= \frac{\partial\pi(v, p(v))}{\partial v}\end{aligned} \tag{13.12}$$

假设 $p(v)$ 是最优选择，我们对（13.7）式应用包络定理考察 π 如何随 v 的变化而变化，我们只是针对最优投标价函数而非所有类型的函数，这样做是合适的。从而

$$\frac{\mathrm{d}\pi(v, p(v))}{\mathrm{d}v} = G(p(v)) \tag{13.13}$$

将（13.11）式代入，可以得到 π 的导数作为 v 的函数：

$$\frac{\mathrm{d}\pi(v, p(v))}{\mathrm{d}v} = F(v)^{n-1} \tag{13.14}$$

从 $\pi(v, p(v))$ 的导数中得到 $\pi(v, p(v))$，对（13.14）式从 0 到 v 对所有的可能价值积分并包括基点价值 $\pi(0)$ 作为积分的常数项：

$$\pi(v, p(v)) = \pi(0) + \int_0^v F(x)^{n-1}\mathrm{d}x = \int_0^v F(x)^{n-1}\mathrm{d}x \tag{13.15}$$

394 最后一步是正确的，因为一个具有 $V=0$ 的投标人不会给出正的投标价格，所以他的支付 $\pi(0, p(0)) = 0$。

我们返回（13.10）式并将（13.11）式和（13.15）式中的 $G(p(v))$ 与 $\pi(v, p(v))$ 代入：

$$p(v)=v-\frac{\int_0^v F(x)^{n-1}\mathrm{d}x}{F(x)^{n-1}} \tag{13.16}$$

假设 $F(v)=v/\bar{v}$ 为均匀分布，则（13.16）式化为：

$$\begin{aligned}p(v)&=v-\frac{\int_0^v (x/\bar{v})^{n-1}\mathrm{d}x}{(v/\bar{v})^{n-1}}=v-\frac{\left.\right|_{x=0}^{v}(1/\bar{v})^{n-1}(1/n)x^n}{(v/\bar{v})^{n-1}}\\&=v-\frac{(1/\bar{v})^{n-1}(1/n)v^n-0}{(v/\bar{v})^{n-1}}=v-\frac{v}{n}=\left(\frac{n-1}{n}\right)v\end{aligned} \tag{13.17}$$

一个复杂的导数可以得到如此简练的结果！如果只有两个投标人并且他们的价值在［0，1］上服从均匀分布，一个投标人将以 v 的概率赢得拍卖并得到期望支付 $v^2/2$。如果 $n=10$，他的投标价格将为 $9/10v$，他将以 v^9 的概率赢得拍卖并得到期望支付 $v^{10}/10$，如果 $v<1$，该支付接近于零。

最高价格拍卖：十一十六拍卖中的混合策略均衡

（13.17）式的结果严格依赖于价值分布的连续性。当该设定不成立时，最高价格拍卖的均衡可能不仅仅是纯策略。现在令两个投标人的私人价值 v_1 和 v_2 以相等的概率取 10 或者 16，并且只有投标人自己知道。

在一级价格拍卖中，一个投标人的最优策略是 $p(v=10)=10$ 以及如果 $v=16$，则采取混合策略，该混合策略在［$\underline{p}$，$\bar{p}$］上取值，将得到 $\underline{p}=10$ 以及 $\bar{p}=13$。期望支付是：

$$\begin{aligned}&\pi(v=10)=0\\&\pi(v=16)=3\\&\pi_s=11.5\end{aligned} \tag{13.18}$$

这与升价拍卖中有相同的支付，在后面的部分我们再回到这个问题上来。

当投标人在连续集上采取混合策略而不是在两个策略之间选择时，这可以作为如何找到混合策略均衡的说明。首先看一下均衡中为何没有纯策略。

在任何均衡中，$p(v=10)=10$，因为任何一个投标人采用 $p<10$ 会使得另一个投标人偏离到 $p+\varepsilon$，一个投标价格高于 10 则超过了物品的价值。如果 $v=16$，参与人将随机选择他的投标价格。假设两个投标人采用纯策略 $p_1(v_1=16)=z_1$ 和 $p_2(v_2=16)=z_2$。z_1 和 z_2 在（10，16）上取值，因为在给定节点中断的假设下，投标价格正好为 10 与投标价格 $p(v=10)=10$ 相比将以严格正的概率输掉拍卖，而投标价格高于 16 将超过物品的价值得到负的收益。要么 $z_1=z_2$，要么 $z_1\neq z_2$。如果 $z_1=z_2$，每个投标人都有动机偏离到 $z_1-\varepsilon$并以 1 的概率而非平局赢得拍卖。如果 $z_1=z_2$，投标人 2 将偏离到投标 395

价格 $z_1+\varepsilon$。如果他不这样做，投标人 1 将偏离到投标价格 $z_1+2\varepsilon$，他将以微小的成本并以概率 1 赢得拍卖。如果 $z_2<z_1$ 也会得出同样的结果。因此在纯策略中没有均衡。

第二步是计算出在 $v=16$ 时一个投标人将以何种纯策略得到混合策略。可以得到他们形成区间 [10，13]。如以上所解释的，投标价格 $p(v=16)$ 不能低于 10（如果他的对手的价值是 10，他可以赢得拍卖）并且不高于 16（虽然总能赢得拍卖，但无收益）。纯策略 $(p=10)|(v=16)$ 将至少以 0.5（给定我们的节点中断准则，当其他投标人恰好是 $v=10$ 时）的概率赢得拍卖，获得的收益为 $0.50\times(16-10)=3$。这就排除了投标价格在（13，16] 上，因为虽然总能赢得拍卖，但支付要少于 3。因此上界 $\overline{p}$ 必须不大于 13。

下界$\underline{p}$必须恰好是 10。在 $(10+\varepsilon)$* 处，投标价格为 $10-2\varepsilon$ 依旧能等价地赢得拍卖，但要获得 ε 的收益，所以 $\underline{p}=10$。

上界 $\overline{p}$ 必须恰好是 13。如果小于 13，其他参与人将以纯策略 $\overline{p}+\varepsilon$ 回应，这将以 1 的概率赢得拍卖，获得的收益要大于投标价格在 $p=10$ 时获得的收益为 $3(=0.50\times(16-10))$ 的情形。在混合策略均衡中，任何混合策略所获得的收益都是相等的，从而 $\overline{p}$ 不能小于 13。

我们不能全部计算出所有的混合策略。当一个参与者在连续集上采取混合策略时，应用模型者需要仔细检查：(1) 奇异点（不仅有正的概率密度，而且有正的概率的特殊点），(2) 间断点（在混合策略范围内的区间中具有零概率的投标价格）。在区间 [10，13] 上是否有奇异点和间断点？经验证没有。

1. 投标人 2 在区间 [10，13] 上的任意点 α 没有奇异点，即没有点 α 有正的概率与正的概率密度相对。具有这种奇异点的一个例子是，在区间 [10，13] 上混合分布的密度有密度函数 $m(p)=1/6$，同时在 $p=13$ 处的奇异点概率为 1/2。从而在 [10，13] 上的累积概率为 $M(p)=p/6$ 和 $M(13)=1$。利用 $M(p)$，一个点如 11 的概率将是零，即使区间如 [10.5，12.5] 的概率为 2/6。

如果 α 是奇异点，投标人 1 将对 $\alpha+\varepsilon$ 赋予正的概率以及对 α 赋予零概率。但投标人 2 将采取对 α 赋予零概率以及对 $\alpha+2\varepsilon$ 赋予正的概率作为应对。

2. 投标人 2 的混合概率密度没有间断 $[g, h]$，其中 $g>10$，$h<13$。如果有间断，那么投标人 1 在 g 和 h 处的收益将是

$$\pi_1(g) = \text{Prob}(p_2 < g)v_1 - g \qquad (13.19)$$

396 及

---

* 疑应为 $10-\varepsilon$。——译者注

$$\pi_1(h) = \text{Prob}(p_2 < h)v_1 - h = \text{Prob}(p_2 < g)v_1 - h \qquad (13.20)$$

其中，在 $\pi_1(h)$ 中的第二个等号成立是因为 p_2 在 g 和 h 之间时具有零概率。投标人 1 将在 $p_1=h$ 处设置概率为零，因为他的支付比在 $p_1=g$ 处的支付低并且在值比较高的 p_1 处也设置概率为零。这是因为他们支付的连续性表明他们的支付比在 $p_1=g$ 处要低。这将造成一个间断 $[h, h^*]$，其中 $p_1=0$。但是投标人 2 将要在 $p_2=h^*$ 以及比其高的价值处设置概率为零，根据相同的原因，这表明我们开始假设在 $[g, h]$ 上只有一个间断是错误的。

从而我们可以推出混合密度函数 $m(p)$ 在整个区间 [10，13] 上是正的并且没有奇异点。这是一个怎样的结果？让我们仅考察对称均衡中两个投标人都有相同的函数 $m(p)$。我们知道在支撑集之中的任何价格为 p 的投标所得到的期望支付都等于 $p=10$ 或 $p=13$ 时的支付，即为 3。因此，既然如果具有价值 $v=16$ 的参与人赢得拍卖的概率为 0.5，因为另外具有 $v=10$ 的参与人赢得拍卖的概率为 $0.5M(p)$，并且另外具有价值 $v=16$ 的参与人也是这样，但是投标价格低于 p，从而支付是

$$0.5(16-p)+0.5M(p)(16-p)=3 \qquad (13.21)$$

这表明 $(16-p)+M(p)(16-p)=6$，所以，

$$M(p)=\frac{6}{16-p}-1 \qquad (13.22)$$

在支撑集 [10，13] 上具有密度函数

$$m(p)=\frac{6}{(16-p)^2} \qquad (13.23)$$

从 $m(10)=1/6$ 上升到 $m(13)=4/6$。

既然在最高价格拍卖和升价拍卖中每个投标人类型具有相同的期望支付，并且物品被售出的概率是 1，所以拍卖者所得到的支付也是相同的，等于 11.5，如同我们在公式（13.6）中所得到的。

你或许会很奇怪地发现在一般连续价值拍卖中有一个纯策略均衡而在离散价值拍卖中却没有。通常如果一个博弈在离散类型空间中没有纯策略均衡，并且我们在原来的离散类型点设置几乎相同的所有的权重，通过“平滑”概率分布函数使得它连续，它仍然没有纯策略均衡。如图 13—1 所示。

这是与离散价值中私人价值拍卖相关的显著特征：混合策略均衡并不会必然阻碍有效性（我们随后研究收益等价性）。当随机化参与者时，有时会出现最高估价参与人很不走运从而输掉了拍卖，这将是无效率的。这种情形在这里不会发生。如赖利（Riley，1989）和沃尔夫斯泰特（Wolfstetter，

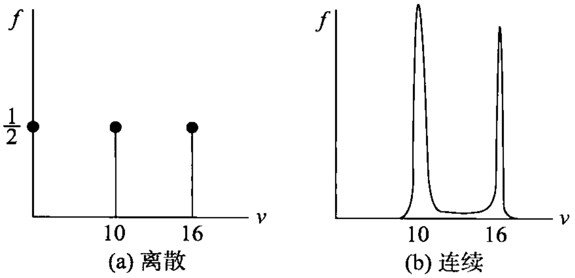


图 13—1　平滑离散分布

1999, p. 204）所解释的一样，如果每个参与人的价值在一些集合 $\{0, v_a, v_b, \cdots, v_w\}$ 和对称均衡混合策略上是离散分布的，混合分布的支撑集是 v_a：$[0, p_1]$，v_b：$[p_1, p_2]$，v_w：$[p_{w-1}, p_w]$，其中 $p_1 < p_2 < \cdots < p_w$。这
397 些支撑集不重叠。每个类型的投标人就像与自己的类型进行竞争一样采取行动（因为与低价格类型相比，他一定赢得拍卖，而与高价格类型相比，他一定输掉拍卖），并且物品被分配给估价最高的投标人。混合结果只决定两个参与人恰好是相同类型时谁赢得拍卖。

次高价格拍卖（次高价格密封出价拍卖，维克瑞拍卖）

规则

每个投标人分别提交自己的出价，而且他们不知道别人的出价。出价是要被公开的。出价最高的人获得物品，并按所有的出价中仅次于最高出价的次高价格付钱给卖者。

策略

投标人的策略是，他的竞价是他的价值的函数。

支付

赢得拍卖的投标人的支付是物品对他的价值减去所有出价中的次高价格。失掉拍卖的投标人的支付是零。拍卖方的支付是次高价格。

讨论

次高价格密封出价拍卖和升价拍卖很类似，但是更简便，虽然这两种拍卖在现实中很少见，但对构建经济模型却非常有用。在次高价格密封出价拍卖中，投标人根据自己对物品的估价来出价是弱占优势策略：如果一个参与人的出价较低，那么他很可能会输掉这次拍卖（并且不太可能依赖于 $f(v)$），但是如果一个参与人赢得了拍卖，他付给卖者的价格仍然是所有出价中的次

高价格。这种支付结构类似于我们曾在 10.4 节介绍过的格罗夫斯机制。在这两种博弈里，参与人的策略会对某些重大事件产生影响（谁赢得拍卖或哪个项目会被实施），但是参与人的策略只是通过这些重大事件影响参与人的支付。在次高价格密封出价拍卖的对称均衡中，每个参与人根据物品对自己的价值来出价，赢得拍卖的人付出所有出价中仅次于最高出价的次高价格。如果参与人确切地知道物品对他们的价值，那么拍卖结果与参与人是否为风险中性无关。

升价拍卖和次高价格拍卖的差别是，次高价格拍卖有特殊的非对称均衡，这是因为拍卖中的行动是同时的，考虑十—十六拍卖中的另一种形式，其中两个投标人每人的估价是 10 或 16，但是实现的价值是共同知识。一个人的投标价是**对称均衡**（symmetric equilibrium）的，这表明竞标函数 $p(v)$ 对两个投标人是相同的：$\{p(v=10)=10,\ p(v=16)=16\}$。但是有非对称均衡： 398

$$\{p_1(v=10)=10,\ p_1(v=16)=16\}$$
$$\{p_2(v=10)=1,\ p_2(v=16)=10\} \tag{13.24}$$

由于投标人 1 的竞标价不低于 10，投标人 2 知道如果 $v_2=10$，他将不能得到一个正的支付，所以他愿意选择 $p_2(v=10)=1$。这样对所有的 $p_1>1$，将会出现销售价格为 1 的结果，这比投标人 1 要好，比价格为 10 时对拍卖方要差，但是投标人 2 并不关心他们的支付。以同样的方式，如果 $v_2=10$，投标人 2 知道如果 $v_1=10$，他的竞标价格为 10，他会赢得拍卖，但是如果 $v_2=16$，他必须支付 16 赢得拍卖并且得到零支付。他将竞标 10 以及输掉拍卖获得收益零。[1]

或许因为拍卖方担心出现类似的非对称均衡，所以次高价格拍卖很少用。但是它们的确在计算机操作系统拍卖中得到了应用。一套计算机系统必须将计算机资源分配给不同的任务，并且施乐公司（Xerox）设计的 Spawn 系统的研究人员在次高价格拍卖中让使用者对计算机资源分配“货币”。参见 “Improving a Computer Network's Efficiency,” *The New York Times*, p. 35 (March 29, 1989)。

降价式拍卖（荷兰式拍卖）

规则

卖者宣布一个要价，然后他不停地降低这一价格，其他购买者让他停止要价，并在当前的叫停价格上买下物品。

策略

投标人的策略是，他停止的要价是他的价值的函数。

支付

赢得拍卖的投标人的支付是物品对他的价值减去他的出价。失掉拍卖的投标人的支付是零。

讨论

荷兰式拍卖与最高价格密封出价拍卖是**策略等价**（strategically equivalent）的，也就是说，在这两种博弈的策略集合和均衡之间存在着一一对应的关系。其原因在于：参与人不能从这两种拍卖的过程之中得到任何有用的信息，只能在拍卖结束时得到一些相关的信息，但是这时拍卖结果已经确定，无法再改变了。在最高价格密封出价拍卖里，只有在投标人的出价是最高出价时，这一出价才会影响拍卖结果，在荷兰式拍卖里，只有当参与人的叫停价格是最高出价时，这一叫停价格才会影响拍卖结果。在这两种拍卖里，均衡价格的产生机制是一样的。

当然一个降价拍卖在逻辑上不会像最高价格拍卖那样。维克瑞（Vickrey，1961）指出降价拍卖可以被构建成为一个次高价格拍卖。当第一个投标人先按下他面前的按钮使他面前的蜂鸣器响起来，如果有第二个买者按下按
399 钮，则第一个买者的蜂鸣器就停止鸣叫。在这种情况下降价拍卖与次高价格拍卖是策略等价的。当然，经济学家在应用该术语时，他们总是意味着“一级价格降价拍卖”。

降价拍卖，即荷兰式拍卖在荷兰被用来销售花卉，可参见 Aalsmeer 拍卖网站 http：//www. vba. nl 上的信息与照片。它同样在安大略被用来销售烟草。在安大略的烟草拍卖场里有一个直径为 4 英尺的圆钟，钟的每一格代表 0. 25 美分。在拍卖场里的六个或更多的烟草收购商面前都有一个停止按钮。钟每走一格，代表着价格下降 0. 25 美分。一旦按了停止按钮，时钟就会记下价格，所以不会出现平局的情形（烟草收购商们的反应速度要和赛车手一样快）。出售烟草的农场主在邻近的一个房间里观看拍卖过程，如果农场主认为价格太低的话，他们可以拒绝接受这一价格（这是保留价格的一种形式）。安大略的烟草拍卖钟每天能售出 250 万磅烟草（Cassady，1976，p. 200）。

现实世界中还有很多不太明显的荷兰式拍卖。菲力纳公司是波士顿规模最大的商店之一，它的地下商场是菲力纳公司中最著名的一部分。在地下商场里出售的商品都是先前在一般的正规商场里出售的减价货，商品的价格标签上标注着价格和相应的日期。商品未卖出去的时间越长，商品售价打的折扣就越大。如果商品很长时间都没有卖出去的话，折扣额会从开始时的 10％上升到最后的 50％～70％。最近，一些书店也采取了这种把商品滞留时间和折

扣率联系起来的经营理念（"Waldenbooks to Cut Some Book Price in Stages in Test of New Selling Tactic," *The Wall Street Journal*, March 29, 1988, p. 34）。

全付拍卖

规则

每个投标人同时提交自己的出价。出价最高的人获得物品，并按他的竞标价付钱给卖者。

策略

投标人的策略是，他的竞价是他的价值的函数。

支付

赢得拍卖的投标人的支付是物品对他的价值减去他的竞标价。输掉拍卖的投标人的支付是他的竞标价的负值。

讨论

在全付拍卖中比在其他拍卖规则下赢得拍卖的价格要低，因为当投标人赢得拍卖时，需要一个高的支付去补偿当他们输掉拍卖时所得到的负支付。同时因为输掉拍卖的投标人也要支付给拍卖方一些收益，因此很明显拍卖方的结果不会变差（事实上在简单的风险中立的情形下，可以证明这与其他规则下的拍卖一样好）。

我不知道全付规则的拍卖在现实的拍卖中是否被应用过，但它是有用的建模工具，因为它可以对寻租行为进行很好的模拟。当一些公司贿赂一个政客以获得特权时，它们就是在进行一个全付拍卖，因为即使输掉拍卖的人也需要承担支付贿赂的成本。当一些公司申请一项专利时，这也是一个全付拍卖，因为申请不成功时也必须承担研发的成本。

等值全付拍卖

假设 n 个投标人中的每一个人都具有相同的价值 v。虽然对存在非对称均 400
衡 $\{v, 0, 0, \cdots, 0\}$ 的次高价格拍卖来说这是正确的，但就大多数拍卖规则而言，这不是一个令人感兴趣的博弈。当然在全付拍卖规则下，该博弈十分有趣。均衡是混合策略的。这很容易看出来，因为在任何纯策略组合中，最高的竞标价格要么小于 v，在这种情况下，每个人都要偏离 $p=v$ 并且提高他的支付；要么一个投标人竞价 v 并且其他人的竞价至多是 $p'<v$，在这种情况下，最高竞价投标人将要偏离给出的竞价，并且恰好高于 p'。

假设我们有对称均衡，所以所有的投标人都应用相同的混合累积分布 $M(p)$。我们假设 $\pi(p)=0$，随后将证明这一点。[2] 每个投标人将以为以 1 的概率得到的支付函数是赢得拍卖的概率乘以价值减去投标价格，如果我们令它等于零，得到

$$M(p)^{n-1}v=p \tag{13.25}$$

所以

$$M(p)=\sqrt[n-1]{\frac{p}{v}} \tag{13.26}$$

如图 13—2 所示。在极端的竞价中，估价为 v 的投标人将要支付 $M(0)=\sqrt[n-1]{\frac{0}{v}}=0$ 与 $M(v)=\sqrt[n-1]{\frac{v}{v}}=1$，所以我们发现了一个有效的分布函数$M(p)$。进一步地，因为一个混合策略 $p=0$ 的支付等于零，我们就证明了在均衡中我们的假设 $\pi(p)=0$。

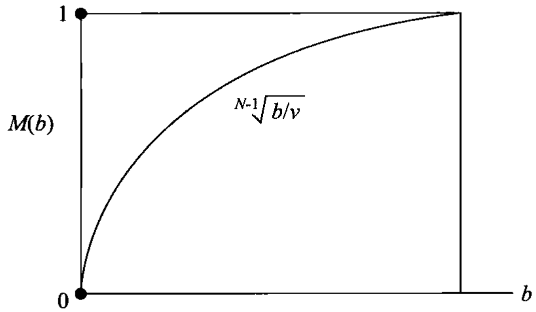


图 13—2　在全付拍卖中同质投标人的投标函数

利用克里希纳（Krishna，2002，chapter 3.2）的解释，现在考虑在连续价值拍卖博弈中全付拍卖规则是怎样的。

连续价值全付拍卖

假设 n 个投标人中的每一个人都按照相同的密度函数 $f(v)$ 提出他的估价
401 v。假设在纯策略中均衡是对称的，并且竞标函数 $p(v)$ 是严格递增的。具有价值为 v 的一个投标人假装他的价值为 z 时的均衡支付函数是

$$\pi(v,z)=F(z)^{n-1}v-p(z) \tag{13.27}$$

因为如果我们投标人的竞标价格为 $p(z)$ 时，它就是最高的价格，只有当其他

所有的（$n-1$）个投标人满足 $v<z$，且对每个人而言，概率都是 $F(z)$。

函数 $\pi(v, z)$ 对 z 不一定是凹的，所以满足一阶条件并不是支付最大化的充分条件，但如果最优的 z 值是非零（除非 $v=0$）或无穷大，它就是一个必要条件。在我们假设的均衡中，（13.27）式的 $\pi(v, z)$ 对 z 是可微的。所以我们需要发现 z 满足：

$$\frac{\partial \pi(v,z)}{\partial z}=(n-1)F(z)^{n-2}f(z)v-p'(z)=0 \tag{13.28}$$

在均衡中投标人采用策略 $p(v)$，所以 $z=v$，并且我们可以得到：

$$p'(v)=(n-1)F(v)^{n-2}f(v)v \tag{13.29}$$

通过积分我们得到：

$$\begin{aligned} p(v) &= p(0)+\int_0^v (n-1)F(x)^{n-2}f(x)x\mathrm{d}x \\ &= \int_0^v (n-1)F(x)^{n-2}F(x)x\mathrm{d}x \end{aligned} \tag{13.30}$$

我们知道 $p(0)=0$，因为一个 $v=0$ 的投标人在 $p(0)>0$ 时有负的期望支付，从而函数 $p(v)$ 对 v 是确定的、对称的、严格递增的。所以我们证明了我们的推测。将（13.30）式中的 $p(z)$ 代入支付方程（13.27），我们可以证明说真话是一个对称均衡策略。

$$\begin{aligned} \pi(v,z) &= F(z)^{n-1}v-p(z)=F(z)^{n-1}v-\int_0^z (n-1)F(x)^{n-2}f(x)x\mathrm{d}x \\ &= F(z)^{n-1}v-F(z)^{n-1}z+\int_0^z F(x)^{n-1}\mathrm{d}x \end{aligned} \tag{13.31}$$

最后一步应用了分部积分法$\left(\int gh'=gh-\int hg'\right.$，其中 $g=x$，$h'=(n-1)$ $\left.F(x)^{n-2}f(x)\right)$。将（13.31）式对 z 最大化，可得

$$\frac{\partial \pi(v,z)}{\partial z}=(n-1)F(z)^{n-2}f(z)(v-z) \tag{13.32}$$

令 $z=v$ 可以使其最大化。从而如果（$n-1$）个投标人应用 $p(v)$ 函数，其他的投标人也会应用该函数，所以我们得到一个纳什均衡。

我们看一看对特定估价分布将是什么情况。假设估价在 [0，1] 上是均 402
匀分布的，所以（13.30）式变为：

$$p(v)=\int_0^v (n-1)x^{n-2}(1)x\mathrm{d}x$$

$$= \Big|_{x=0}^{v} (n-1)\frac{x^n}{n}$$

$$= \left(\frac{n-1}{n}\right)v^n \qquad (13.33)$$

如果有 $n=2$ 个投标人，估价为 v、竞价为 $v^2/2$ 的一个投标人赢得拍卖的概率为 v，期望支付为 $\pi=v(v)-v^2/2=v^2/2$。如果有 $n=10$ 个投标人，估价为 v、竞价为 $(9/10)v^{10}$ 的一个投标人赢得拍卖的概率为 v^9，期望支付为 $\pi=v(v^9)-(9/10)v^{10}=v^{10}/10$。如同我们在讨论收益等价性定理时所看到的，当估价在 [0，1] 上是均匀分布时，它与最高价格拍卖有相同的支付绝非偶然。

美元拍卖

并非仅由赢得拍卖者支付的著名例子是舒比克（Shubik，1971）的美元拍卖。这是一个出售 1 美元债券的升价拍卖，其中报价高的参与人的支付也高，最高报价的投标人赢得拍卖，但是最高和次高报价的投标人都要支付他们的投标价格。如果参与人在开始时拥有无限的财富，在策略集无界的情况下，该博弈说明了为什么均衡可能不存在。一旦一个投标人开始与另一个投标人展开竞价，两个人都尽量持续竞标，直到最终赢得美元拍卖并支付竞价（如果有三个或更多的参与人，只有竞标价格最高的两个人在博弈中最早停止竞价）。这种拍卖看起来有点不可思议，但是作为全付拍卖的一个变种，与专利和军备竞赛非常相似。参见贝和霍庇（Baye & Hoppe，2003）关于创新博弈和拍卖间的等价性的详细描述。

全付拍卖和美元拍卖是拍卖中的一个参与者即使输掉拍卖也必须支付一些收益的两个例子。第 3 章的消耗战是另外一个例子，它类似于次高价格全付拍卖的情形。更奇怪的是，输掉拍卖的拍卖者支付的拍卖在一个有两个参与人参与的拍卖中，只有输掉拍卖者支付。如同我们在全付拍卖中所看到的，它的收益与其他拍卖形式是等价的，当然拍卖的规则很奇怪并不意味着必定对投标人不利。

全付拍卖是对寻租行为建模的标准方法：假设有 n 个参与人，每人同时付出 e 的努力以得到价值为 v 的奖励，获胜者是付出努力最高的人。另一种对寻租建模的通常方法是，在一个拍卖中最高投标人具有最佳机会赢得拍卖，但是较低的投标人或许也能赢得拍卖。图洛克（Tullock，1980）撰写了一篇关于这方面的文献。尽管错误地认为投标人支付的数值或许超过奖励的价值，这篇文章还是很有价值的。（参见贝、科夫诺克和维瑞斯（Baye，Kovenock &

de Vries，1999）对**租金耗散**（rent dissipation）的最近分析。）对竞赛建模没有明显的方法，但是函数的形式的确对行为很重要，如同杰克·赫什莱弗（Jack Hirshleifer，1989）所论述的。在最常用的函数形式中，P_1 和 P_2 是两个参与人赢得拍卖的概率，e_1 和 e_2 是他们的努力。R 和 θ 是参数，用来提高竞价赢得拍卖的概率或使得一个参与人比另一个参与人更有优势。从而获胜函数被假定为 403

$$P_1 = \frac{\theta e_1^R}{\theta e_1^R + e_2^R} \text{ 和 } P_2 = \frac{e_2^R}{\theta e_1^R + e_2^R} \tag{13.34}$$

如果 $\theta = 1$ 并且 R 变得较大，这将与简单的全付拍卖非常接近，因为没有一个参与者具有优势，并且最高竞价的投标人以接近于 1 的概率赢得拍卖。

然而，一旦我们抛开真实的拍卖，建模者必须仔细应对一些看似显然的假设。例如，两个投标人可以拒绝进入美元拍卖，但是两个国家很难拒绝进入军备竞赛，如果其中一国一直持续军事投入，虽然它们可以通过串谋保持竞价很小。奖励的数量随同投标价格的升降波动经常是受欢迎的，例如当一个竞赛机制用来激励团队中的成员增加生产（参见 Chung（1996））或者因为寻租行为损害经济使得奖励随着努力的减少而减少（参见 Alexeev & Leitzel（1996））。

13.3 收益等价性、风险规避与不确定性

我们现在可以汇总所有拍卖规则的结果并对之加以比较。我们已经知道最高价格拍卖和降价拍卖是策略等价的，所以无论价值是私人的还是共同的以及参与人是风险中性的还是风险规避的，投标人和拍卖方的支付在每种规则下都是相同的。

如果价值是私人信息并且是互相独立的，那么次高价格拍卖和升价拍卖就是等价的。在这两种拍卖中，都是对物品出价最高的投标人赢得拍卖并获得物品，同时他所付出的价格都是所有出价中仅次于最高出价的次高价格，但参与人在这两种拍卖中所采取的出价策略是不同的。然而，前面讨论过的五种拍卖中拍卖方的期望收益都是一样的。这就是拍卖理论最重要的一个结论：维克瑞的**收益等价性定理**（the revenue-equivalence theorem）（Vickrey，1961）。除了维克瑞的原始陈述外，还有多种推广（如 Klemperer（2004，p. 40）），所以没有单一的收益等价性定理，但是它们都有共同的观点，即在多种拍卖规则下的支付是一样的。我们将考察两个版本：具有特殊特性拍卖的一般版本和对我们刚刚分析过的五种拍卖规则的特殊版本的一个推论。

定理 13.1（收益等价性定理）

令所有的参与人都是风险中性的，并且在 $[\underline{v}, \bar{v}]$ 上有独立的、无奇异点的、严格递增的分布函数 $F(v)$。如果在拍卖规则 A_1 或拍卖规则 A_2 下，如下陈述是正确的：

(a) 赢得拍卖物品的参与人具有最高的估价；及

(b) 最低的投标类型，$v=\underline{v}$，具有期望零支付；

那么在这两个拍卖规则的对称均衡中，每种类型的投标人和拍卖方都具有相同的期望支付。

404 证明：我们令拍卖是在直接机制下的真实均衡，其中类型为 v 的每个投标人发送他的信息 z 并且支付期望价格的数量为 $p(z)$（根据显示原理，我们可以这样做）。由假设（a），一个选择信息 z 的参与人赢得拍卖物品的概率为 $F(z)^{n-1}$，其他（$n-1$）个参与人的概率具有价值 $v<z$。我们用 $G(z)$ 表示赢得拍卖的概率，它具有概率密度函数 $g(z)$。注意到 $g(z)$ 具有良好的定义，因为我们假定 $F(v)$ 是无奇异点的并且处处递增的。

因为我们将讨论限定在对称均衡上，所以类型为 v 的参与人的期望支付是相同的。它等于

$$\pi(z, v)=G(z)v-p(v) \tag{13.35}$$

参与人选择类型信息 z 的一阶条件是（我们之所以可以应用该条件，是因为在条件（a）成立时，无论 $z=0$ 还是 $z=\bar{v}$ 都不是最优的）

$$\frac{\mathrm{d}\pi(z, v)}{\mathrm{d}z}=g(z)v-\frac{\mathrm{d}p(z)}{\mathrm{d}z}=0 \tag{13.36}$$

所以

$$\frac{\mathrm{d}p(z)}{\mathrm{d}z}=g(z)v \tag{13.37}$$

我们考察真实的均衡，因此我们可以用 v 代替 z：

$$\frac{\mathrm{d}p(v)}{\mathrm{d}v}=g(v)v \tag{13.38}$$

接下来，对（13.38）式从零到 v 进行积分，加入 $p(\underline{v})$ 作为积分的常数：

$$p(v)=p(\underline{v})+\int_{\underline{v}}^{v}g(x)x\mathrm{d}x \tag{13.39}$$

我们可以应用（13.39）式代替（13.35）式中的 $p(v)$，因为假设（b）成立，用 v 代替 z 并且令 $p(\underline{v})=0$ 后，式（13.35）将变为：

$$\pi(v,v) = G(v)v - \int_{\underline{v}}^{v} g(x)x\mathrm{d}x \tag{13.40}$$

等式（13.40）表明，类型为 v 的投标人的期望支付仅仅依赖于分布函数 $G(v)$，而它反过来又仅依赖于分布函数 $F(v)$，而不是依赖于函数 $p(z)$ 或特殊拍卖规则的其他细节。但是如果投标人的支付不依赖于拍卖规则，那么拍卖方也不依赖于拍卖规则。证毕。

收益等价性定理有许多版本，但该定理的名字来自一个共同的版本，即拍卖方而非投标方的收益在不同拍卖规则下是相同的。以上证明的版本采用了克里希纳（Krishna，2002，p. 30）的命题 3.1。其他采用不同证明方法的版本参见 Klemperer（1998，p. 40）和 Milgrom（2004，p. 74）。投标人是风险中性的并且他们的价值服从相同的概率分布是对所有版本的两个标准假设。 405

只有当我们将收益等价性定理应用到我们以上讨论的多种拍卖规则时，才能显示它的显著特性。升价拍卖、最高价格拍卖、次高价格拍卖、降价拍卖、全付拍卖具有连续价值的对称均衡都满足定理 13.1 的两个条件：（1）具有最高估价的投标人赢得拍卖，及（2）最低类型的参与人具有零支付。从而如下推论成立。

收益等价性推论。令所有的参与人都是风险中性的，具有从相同的严格递增的、无奇异点的分布函数 $F(v)$ 导出的私人价值。升价拍卖、最高价格拍卖、次高价格拍卖、降价拍卖、全付拍卖规则下的对称均衡对每一个类型的投标人和拍卖方都具有相同的期望支付。

尽管不同的拍卖对拍卖方而言具有相同的期望支付，但他们并不拥有同样的已实现的支付。例如，在最高价格拍卖中赢得拍卖的投标人的支付完全依赖于他自己的价值。次高价格拍卖中赢得拍卖的投标人的支付完全依赖于次高价值，在一些情况下次高价值接近于他自己的价值，有时甚至要少很多。因此，如果参与人是风险规避的，那么最高价格拍卖会较好。

还要记住，收益等价性定理不仅要求投标人具有私人而非共同价值，并且要求私人价值是独立的。为什么？考虑两个投标人的情况，两者的价值都服从 [0，10] 上的均匀分布，但是是相互依赖的，其中 $v_2 = 10 - v_1$。如果我们不考虑弱占优策略均衡（例如，如果一个参与人的价值低于 5，他的竞标价格是 0），次高价格拍卖产生的收益等于次高估价 $p = v_{(2)}$。当然拍卖方应用最高竞价投标人赢得拍卖的拍卖规则可以获取更高的收益，即他要支付 10 减去次高投标价。在该规则下的一个均衡是，两个参与人都将他们的价值作为他们的竞标价格，并且 $p = 10 - v_{(2)} = v_{(1)} > v_{(2)}$。

私人价值拍卖中的风险规避[3]

当投标人是风险规避的时，收益等价性定理不成立。考虑在十一十六拍卖中的投标人1，当时他知道他自己的价值是 $v_1=16$ 但是不知道 v_2。在二级价格拍卖中，他有相同的机会获得要么是0（如果 $v_2=16$）要么是6（如果 $v_2=10$）的支付，而不管投标人是不是风险规避的，因为将自己的价值作为竞标价格是弱占优策略。

将他的支付与最高价格拍卖中的混合策略均衡作一比较。如果投标人是风险中立的，则结果如以前讨论的那样，如果投标人具有价值16，他将在混合支撑集［10，13］上赢得拍卖并以0.75的概率获得在［3，6］上的一个支付，或输掉拍卖并以0.25的概率获得零支付。次高价格拍卖中的（0，6）游戏比一级价格拍卖中的（0，3到6）的游戏风险要高。（0，6）游戏比较简单但是离差较大。

如果投标人是风险规避的，最高价格拍卖中的最优策略将会发生改变。在区间［10，$\overline{p}$］上投标人的混合策略仍然成立。我们令期望支付相等，得到
406 $\overline{p}$ 和最优混合分布，当然价格为10时能确定赢得拍卖比在价格为13时赢得拍卖的机会要高出50%。我们令每个投标人的凹效用函数为 $U(v-p)$，并且通过定义 $U(0)\equiv 0$ 将其标准化。$p=10$ 能以0.5的概率赢得拍卖的期望支付必须等于混合支撑集的上界 $\overline{p}$ 处所得到的期望支付，所以

$$0.5U(6)=U(16-\overline{p}) \tag{13.41}$$

由于 U 的凹性，$0.5U(6)<U(16-13)$，所以必然有 $\overline{p}>13$。我们令 $\pi(p)$ 等于投标价格为10时的支付 $0.5U(6)$，得到混合分布函数 $M(p)$，所以

$$\pi(p)=0.5U(16-p)-0.5M(p)U(16-p)=0.5U(6) \tag{13.42}$$

求解可得

$$M(p)=\frac{U(6)}{U(16-p)}-1 \tag{13.43}$$

具有密度函数

$$m(p)=\frac{U(6)U'(16-p)}{U^2(16-p)} \tag{13.44}$$

将上式与公式（13.23）的风险中立的密度函数 $m(p)=6/(16-p)^2$ 相比较，从而发现风险规避的投标人的确扩大了他们均衡投标价格的区间（支撑集比［10，13］要宽），但是最高价格拍卖比次高价格拍卖承担的风险要低。

连续价值拍卖下的情况如何？在次高价格拍卖中最优策略没有改变，如果拍卖方是风险规避的，拍卖方的收益也没有改变。为了求得最高价格拍卖的均衡，我们考察一定的激励水平下，投标人在他的类型为 v 而报告为 z 的拍卖中以 $G(z)$ 的概率赢得拍卖物品并且支付为 $p(z)$。投标人通过选择 z 实现最大化。

$$\begin{aligned}\pi(v,z) &= G(z)U[v-p(z)] \\ &= F(z)^{n-1}U[v-p(z)]\end{aligned} \tag{13.45}$$

式中 $\pi(v,\ 0)=0$，因为 $F(0)=0$，在最优值处，

$$\begin{aligned}\frac{\partial\pi(z,v)}{\partial z} &= (n-1)F(z)^{n-2}f(z)U[v-p(z)] \\ &\quad + F(z)^{n-1}U'[v-p(z)][-p'(z)] = 0\end{aligned} \tag{13.46}$$

在均衡中，$z=v$。利用这一事实，对于所有的 $v>\underline{v}$（因为 $F(\underline{v})=0$），我们可以通过方程（13.46）求解 $p(z)$，得到

$$p(v) = \left(\frac{(n-1)f(v)}{F(v)}\right)\left(\frac{U[v-p(v)]}{U'[v-p(v)]}\right) \tag{13.47}$$

现在我们考察风险规避对 $p(v)$ 的影响。如果 U 是线性的，那么 407

$$\frac{U[v-p(v)]}{U'[v-p(v)]} = v-p(v) \tag{13.48}$$

如果投标人是风险规避的，所以 U 是严格凹的。

$$\frac{U[v-p(v)]}{U'[v-p(v)]} > v-p(v) \tag{13.49}$$

从而对于给定的 v，公式（13.47）中的投标价格函数在投标人是风险规避的情况下比他不是时的竞标价格要高。投标价格随除 $v=\underline{v}$ 之外的每一个价值 v 递增（无论是不是风险规避的，都有 $p(\underline{v})=\underline{v}$）。风险规避投标人采用比风险中立投标人的最优水平高的投标价格可以保证自己赢得拍卖。如果他赢得拍卖，因为价格稍高，他的剩余稍微有点低，但是他更有可能赢得拍卖，从而避免具有零剩余。

结果是，如果投标人是风险规避的，拍卖方的收益在最高价格拍卖中比次高价格拍卖中要高。但是由于在风险中性的情况下最高价格拍卖和次高价格拍卖产生了相同的收益，而在风险规避的情况下最高价格拍卖必须产生更高的收益，期望和条件最高的 v 将出现在拍卖中。在投标人为风险规避的情况下，拍卖方无论是风险中性的还是风险规避的都将更加偏好最高价格拍卖。

参与人自己价值的不确定性

我们已经看到，当投标人是风险规避的时，因为次高价格拍卖比最高价格拍卖风险程度高，使得收益等价性不成立。基于同样的原因，升价拍卖的风险程度高，并且从策略等价性来看，降价拍卖与最高价格拍卖的风险程度相同。如果投标人无法准确地知道他们的价值，风险规避会由于不同的原因而发生作用。我们在随后的共同价值拍卖中将看到，无论投标人是不是风险规避的，由于“赢家诅咒”的策略原因以及米尔格罗姆和韦伯（Milgrom & Weber，1982）提出的“联结原理”，参与人对自己价值的不确定性会导致保守的竞标行为。价值不确定即使在独立私人价值拍卖中也具有一个由风险规避导致的简单的效应：无论通过拍卖还是公开价格，购买具有不确定价值的商品都具有内在风险。

考虑如下问题：

如果拍卖方能够降低投标人对拍卖物品价值的不确定性，他愿意这样做吗？

我们假定拍卖方事先承诺披露有利信息和不利信息，当然他希望最好披露仅能提高投标人对物品价值估计的信息（虽然第10章中的隐藏效应将会消除这一策略）。拍卖方建立起降低不确定性的拍卖系统是值得称道的，例如允许投标人在拍卖开始前检查物品的政策。我们建立模型考察该政策的影响。

假设在升价拍卖中有具有私人信息的 n 个投标人。每个人对他私人价值 v
408 的测度具有独立误差 $\varepsilon>0$。该误差具有相等的概率 $-x$，$+x$ 或 0。投标人在事前是分散的，所以他们将让所有的 v 值在事前都相等。我们令 $\hat{v}=v+\varepsilon$ 为投标人的测度价值并且是对 v 的一个无偏估计。在我们已经研究过的升价拍卖中 $\varepsilon=0$，最高竞标价格的上限是 v。现在 $\varepsilon>0$，那么一个投标人具有 $U(v-p)$ 的效用函数的投标价格上限是什么？

如果投标人赢得拍卖并且对物品的支付为 p，他在该点的期望效用是

$$\pi(p)=\frac{U([\hat{v}-x]-p)}{3}+\frac{U(\hat{v}-p)}{3}+\frac{U([\hat{v}+x]-p)}{3} \qquad (13.50)$$

假设他是风险中性的，如果 $p=\hat{v}$ 他将获得零支付，如果以任何略低的价格赢得拍卖，他都会获得正的支付。这是因为 $U(v-p)=v-p$ 以及

$$\pi(\text{风险中立},\ p=\hat{v})=\frac{[\hat{v}-x]-\hat{v}}{3}+\frac{\hat{v}-\hat{v}}{3}+\frac{[\hat{v}+x]-\hat{v}}{3}=0 \qquad (13.51)$$

从而在风险中性的情况下，除了拍卖人的竞标价格上限是他对该物品的期望价值而不是他的价值外，参与人对自己价值的不确定性并不影响最优策略。不考虑逆向选择，拍卖方没有理由去尽力提高投标人的信息。

如果投标人是风险规避的，当然效用函数 U 是凹的。

$$\frac{U([\hat{v}-x]-p)}{3}+\frac{U([\hat{v}+x]-p)}{3}<\left(\frac{2}{3}\right)U(\hat{v}-p) \qquad (13.52)$$

所以他在方程（13.50）中的期望支付要低于 $U(\hat{v}-p)$，并且如果 $p=\hat{v}$，他的支付要低于 $U(0)$。一个风险规避的投标人如果支付的是投标价格的上限，他将获得负的期望收益，除非该价格严格小于他的估计价值。

注意到拍卖方并没有控制模型中的所有元素。拍卖方经常可以单方面选择拍卖规则。这不仅包括竞标如何进行，还包括诸如投标人是否知道在拍卖中有多少潜在的投标人，拍卖方自己是否允许参加竞标，等等。另外，拍卖方能够决定对拍卖物品提供多少信息。当然，拍卖方不能决定投标人是否为风险规避的，或者他们是否具有共同或私人价值，也不能选择他所拍卖的物品对他们的价值。所有这些假定都与投标人的效用函数有关。拍卖方可以选择生产的拍卖物品至多是具有共同价值而不是私人价值之类的事情。

我们将对经常观察到的参与人自己的价值不确定性导致赢家诅咒这一误差作简短的考察。除非拍卖是共同价值拍卖，否则就不会出现这种情况。参与人价值的不确定性是赢家诅咒的必要而非充分条件。风险规避的投标人如果对价值具有不确定性，即使拍卖是私人价值拍卖，他们的投标价格将不会高于他们的估价。这看上去非常类似于赢家诅咒，但是投标价格折价的原因完全不同，这依赖于它是风险规避的。如果投标人对价值估计不确定，但他们是风险中性的，他们的占优策略是，仍旧将他们的价值估计作为投标价格。如果出现赢家诅咒，一旦投标人赢得拍卖，即使他是风险中性的，从平均上看他的估计要比价值高。

13.4 保留价格与边际收益方法

一个**保留价格**（reserve price）p^* 是拍卖方在拍卖开始前保密或公开设定的投标价格，如果没有投标价格高于 p^*，他将不出售物品。拍卖方经常发现 409
一个保留价格能提高他的支付。如果他这样做，他总是选择一个严格大于他自己价值的保留价格：$p^*>v_s$。为了看清这一点，我们将对拍卖应用**边际收益方法**（marginal revenue approach），该方法由布洛和罗伯茨（Bulow & Roberts，1989）对风险中性的私人价值的研究以及布洛和克伦佩雷尔（Bulow &

Klemperer，1996）对公共价值和风险规避的研究推导出来。该方法将拍卖中的拍卖方与利用公开价格销售的一般的垄断者加以比较。我们将从只有一个投标人的拍卖开始，然后将它扩展到多个投标人的拍卖，最后将回到一个投标人的拍卖和一个垄断拍卖方利用公开价格对连续的投标人销售物品的拍卖之间的惊人相似性上来。

1. **一个投标人**。如果只有一个投标人，在我们以上讨论的所有拍卖规则下拍卖方的处境将很差。这个唯一的投标人给出投标价格 $p=0$ 并且赢得拍卖。

这种情况更符合讨价还价或单纯的垄断而非拍卖。拍卖方利用拍卖，但是一个标准的拍卖使他获得零收益，所以向投标人给出公开价格更合理。如果拍卖有一个保留价格，当然这等价于一个公开价格，如同在讨价还价中给出的要么接受—要么放弃的出价 p^* 与公开价格是等价的。

出价 p^* 是多少？令投标人在 $[\underline{v}, \bar{v}]$ 上具有可微的和严格递增的价值分布函数 $F(v)$，所以密度函数 $f(v)$ 总是正的。令拍卖方对物品的估价 $v_s \geq \underline{v}$。拍卖方的支付是：

$$\begin{aligned}\pi(p^*) &= \Pr(p^* < v)(p^* - v_s) + \Pr(p^* > v)(0) \\ &= [1-F(p^*)](p^* - v_s)\end{aligned} \tag{13.53}$$

一阶条件为

$$\frac{\mathrm{d}\pi(p^*)}{\mathrm{d}p^*} = [1-F(p^*)] - f(p^*)(p^* - v_s) = 0 \tag{13.54}$$

对（13.54）式求解 p^* 得到

$$p^* = v_s + \frac{1-F(p^*)}{f(p^*)} \tag{13.55}$$

要么接受—要么放弃的出价的最优值即“保留价格” p^* 满足公式（13.55）。保留价格严格大于拍卖方对物品的价值（$p^* > v_s$），除非问题的解是$F(p^*)=1$，因为最优保留价格是投标人价格的最大可能值，这种情况下物品被销售的概率为零。应用保留价格的一个原因是，拍卖方在价格低于他的价值时将不出售物品，但也不完全如此。[4]

410 2. **多个投标人**。现在令 n 个投标人都具有独立的价值分布函数 $F(v)$。将投标人中有最高和次高价值的人记为投标人 1 和 2。在次高价格拍卖中拍卖人的支付是

$$\begin{aligned}\pi(p^*) = &\Pr(p^* > v_1)(0) + \Pr(v_2 < p^* < v_1)(p^* - v_s) \\ &+ \Pr(p^* < Ev_2 < v_1)(v_2 - v_s)\end{aligned}$$

$$
= \int_{v_1=\underline{v}}^{p^*} f(v_1)(0)\mathrm{d}v_1 + \int_{v_1=p^*}^{\bar{v}} \left(\int_{v_2=\underline{v}}^{p^*} (p^* - v_s) f(v_2)\mathrm{d}v_2 + \int_{v_2=p^*}^{v_1} (v_2 - v_s) f(v_2)\mathrm{d}v_2 \right) f(v_1)\mathrm{d}v_1 \tag{13.56}
$$

将等式（13.56）对两个随机变量积分。第一，外层积分中 v_1 是大于还是小于 p^* 很重要；第二，内层积分中 v_2 是大于还是小于 p^* 也很重要。

现在对等式（13.56）进行微分，应用莱布尼茨积分规则（见数学附录）求得最优保留价格 p^*：

$$
\begin{aligned}
\frac{\mathrm{d}\pi(p^*)}{\mathrm{d}p^*} &= 0 + (-f(p^*))\left(\int_{v_2=\underline{v}}^{p^*} (p^* - v_s) f(v_2)\mathrm{d}v_2 \right. \\
&\quad \left. + \int_{v_2=p^*}^{p^*} (v_2 - v_s) f(v_2)\mathrm{d}v_2 \right) \\
&\quad + \int_{v_1=p^*}^{\bar{v}} \left((p^* - v_s) f(p^*) - (p^* - v_s) f(p^*) \right. \\
&\quad \left. + \int_{v_2=\underline{v}}^{p^*} f(v_2)\mathrm{d}v_2 \right) f(v_1)\mathrm{d}v_1 \\
&= -f(p^*)\left(\int_{v_2=\underline{v}}^{p^*} (p^* - v_s) f(v_2)\mathrm{d}v_2 + 0 \right) \\
&\quad + \int_{v_1=p^*}^{\bar{v}} \left(\int_{v_2=\underline{v}}^{p^*} f(v_2)\mathrm{d}v_2 \right) f(v_1)\mathrm{d}v_1 \\
&= -f(p^*)F(p^*)(p^* - v_s) + (1 - F(p^*))F(p^*) = 0
\end{aligned} \tag{13.57}
$$

除以 F 后，公式的最后一行表明

$$
p^* = v_s + \frac{1 - F(p^*)}{f(p^*)} \tag{13.58}
$$

和在公式（13.55）中一个投标人情况下的结果一样。特别地，最优保留价格没有发生变化！更重要的是，等式（13.58）可以应用于任何数量的投标人，而不仅仅是 $n = 2$。只有投标人 1 和 2 出现在导数方程中，这是因为在次高价格拍卖中，只有他们影响结果。

实际上，只有最高价值的投标人对保留价格有影响。如果次高价值的投标人恰好具有非常低的价值，保留价格仅仅影响赢得拍卖的价格。在此情况下，如果没有保留价格，投标人 1 将会给出低的竞标价格，就如同他没有竞争者一样。但是对拍卖方而言，在此情况下的价值比较低，他希望设定一个保留价格让投标人 1 必须多支付一点。因为在除一个人之外其他所有人都有较低价值的情况下，保留价格很重要，但“除一人之外的所有人”是 99 还是

0 并不重要。拍卖方在除一人之外的所有人都具有低的价值的博弈中，仅有一个投标人发生作用。

3. **连续投标人：边际收益解释**。下面考虑我们曾经应用过的一家具有常数边际成本的企业面对具有相同的分布函数 $F(v)$ 的连续投标人。价值高于 p
411 的投标人的数量是（$1-F(p)$），所以需求方程是

$$q(p)=1-F(p) \tag{13.59}$$

并且

$$\text{收益} \equiv pq=p(1-F(p)) \tag{13.60}$$

边际收益是（牢记 $\mathrm{d}q/\mathrm{d}p=-f(p)$）

$$\begin{aligned}\text{边际收益} \equiv \frac{\mathrm{d}R}{\mathrm{d}q} &= p+\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}q}q \\ &= p+\left(\frac{1}{\mathrm{d}q/\mathrm{d}p}\right)q \\ &= p+\left(\frac{1}{-f(p)}\right)(1-F(p)) \\ &= p-\frac{1-F(p)}{f(p)}\end{aligned} \tag{13.61}$$

令边际收益等于边际成本，利润最大化的垄断价格满足等式（13.61）中的边际收益等于 c。

等式（13.61）看上去很熟悉吗?[5]令（13.61）式等于边际成本，考虑边际成本为 v_s，即拍卖方的机会成本，并且将 p 移到左边，得到如同在等式（13.55）中我们为一个投标人求得的最优价格等式。这是因为该问题在数学上是等价的，无论拍卖方面对的是按概率分布为 $F(v)$ 的连续投标人还是从连续函数 $F(v)$ 中随机挑出的一个投标人。该问题如同在对拍卖方而言投标人的类型是未知的要么接受—要么放弃的讨价还价模型一样。在所有的三种情况下，即连续的投标人、具有保留价格的一个拍卖方的拍卖以及唯一要价的唯一投标人，拍卖方通过有效地利用基本垄断定价原则使得生产产量的边际收益等于边际成本。差别体现在解释上。在拍卖和讨价还价的背景下，单位数量的边际变化变成了出售 1 单位的概率的边际变化。销售方依旧选择数量，但是当他对一个投标人仅出售 1 单位产品时，他是在区间 [0，1] 上而非在 [0，∞) 上进行选择。为了增加这个概率，从而提高期望出售的产品数量，拍卖方必须降低他的价格，正如一般垄断方必须降低他的价格以提高他的销售数量。

图 13—3（a）表明了这一点。在拍卖背景下，c 表示拍卖方的销售成本，

或者表示其他任何能使得拍卖方出售物品的最低价格，$v_{拍卖方}$。拍卖方将如同一个垄断方一样具有常数边际成本（因为他只生产 1 单位产品），面对基于 $f(v)$的需求曲线，这表明他设定的保留价格必须满足边际收益等于边际成本的数量。

最优保留价格总是正的。在图 13—3 中即使 v_s 是零而不是正的，保留价格曲线也必须是正的，即使销售的概率等于 1。这与垄断方为了在特定条件下（例如图 13—3 中的曲线）也不使产出降低到竞争水平之下并且保留价格是多余的，而总是将价格提高到边际成本之上的观点相对应。 412

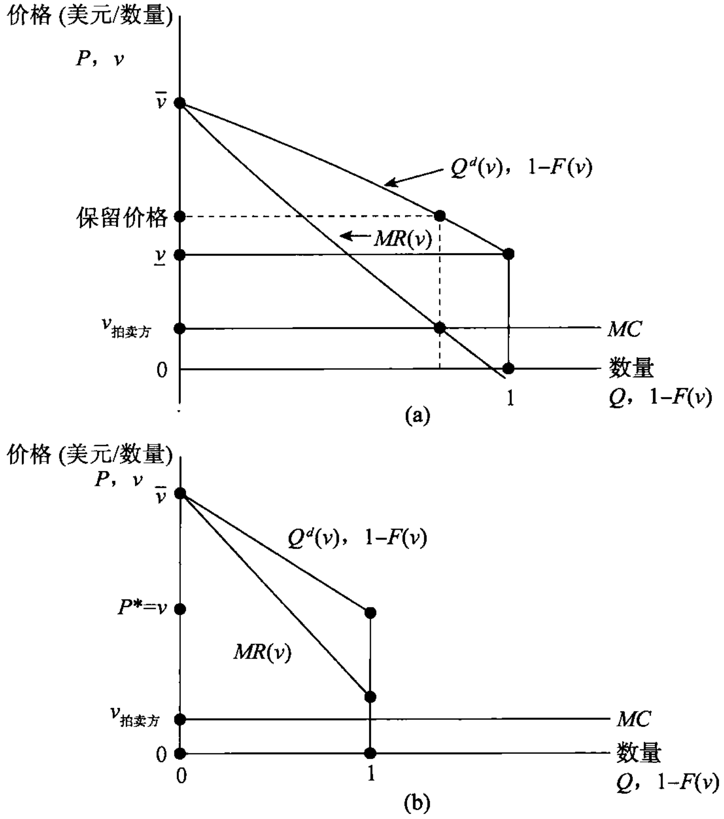


图 13—3　拍卖和边际收益：(a) 需要保留价格及 (b) 不需要保留价格

如果产出低于竞争水平，结果是非有效的，对传统的垄断以及这里的拍卖，有一些结论是正确的。在这里的拍卖中，即使对某些投标人而言 $v>v_s$，如果再没有销售 1 单位的产品，则是无效率的低产出。在这种情况下，一个拍卖方所能做的是将期望产出降低到他能生产的 1 单位之下，结果如传统的垄断一样，期望福利损失等于一个三角形的面积。

与传统垄断不一样的是，在拍卖中有一个无效率的“过度产出”。这种情形发生在即使没有投标人对物品的估值与卖方一样，即对赢得拍卖的投标人，有 $v<v_s$。这样一个正的保留价格有助于提高效率而非损害效率。最高价格拍卖、次高价格拍卖、降价拍卖、升价拍卖以及全付拍卖，所有这五种拍卖形式在私人价值条件下都是有效的，即使拍卖价格不是在利润最大化水平而是
413 在 $p^*=v_s$ 处设定的。当然我们还可以证明，如果没有一个大于 v_s 的保留价格，所有这五种拍卖规则对拍卖方而言没有一个是最优的。当然加入一个最优保留价格后，在简单情形下可以证明（我们在这里不准备证明），拍卖方不需要应用比我们研究过的五种方式更复杂的拍卖规则。

当然在比较复杂的情况下，事情就会变得更加复杂，并且出现无效率的概率不仅因为物品根本不能出售，而且可能是因为出售给了“错误的”投标人（即不是估价最高的投标人）。我们早已说明，这种情形在非对称拍卖中会发生，其中投标人从不同的概率分布而非同一的 $F(v)$ 中得到估计价值。对两个投标人会发生 $(1-F_1(v)/f_1(v))>(1-F_2(v)/f_2(v))$，在这种情况下我们设定 p^* 的规则变得含糊不清。我们将应用哪一个投标人的函数 F? 在这种情况下拍卖方如果采用有利于投标人 2 的有偏的拍卖是最好的，即使 $v_2<v_1$，投标人 2 有时也会赢得拍卖。在高的 v 并不能表明 $(v-1-F(v)/f(v))$ 也是高的这种不寻常的概率分布的情形下也会发生类似的问题。这种情形下的更复杂的情况参见 Myerson（1981）或 Bulow & Roberts（1989）。

阻止投标人串谋

拍卖规则的选择很重要的另一个原因是，我们曾经讨论过拍卖方如同一个垄断者：投标人通过串谋可以像一个垄断方一样采取行动，如果投标人像一个投标人那样合作，这就如同我们已经讨论过的一个投标人的拍卖。其中应用保留价格非常重要，并且拍卖方原先可以从拍卖中通过信息诱导出的收益消失了。当然如果投标人试图串谋但又保持自利，拍卖规则的选择使得串谋成功和串谋失败是有差别的。对串谋而言，一些拍卖规则比其他拍卖规则要脆弱。

罗宾逊（Robinson，1985）指出无论在私人价值还是共同价值拍卖中，最高价格在阻止投标人串谋上比次高价格或升价拍卖要有效（也可以参见 Graham & Marshall（1987））。考虑在只有一个投标人的卡特尔中，投标人史密斯具有私人价值 20，其他投标人的价值是 18，但他们都同意除了史密斯的投标价格是 6 以外其他所有人的投标价格都是 5。（我们不考虑该竞标价格选择的合理性，或许它是基于避免法律的惩罚。）在升价拍卖中该策略是自我实

施的，因为如果其中某一个人欺骗大家，并且给出竞标价格 7，史密斯会尽力将价格抬升到 20，欺骗者将不能够从他的偏离中获得任何收益。这种自我实施在次高价格拍卖中也容易实现，因为在卡特尔中，史密斯的投标价格为 20，其他每个人的投标价格都为 6，如果某个投标人进行欺骗并且投标价格高于 6，除非他的投标价格是 20 或者更高，否则他还是会输掉拍卖。

当然与升价拍卖或次高价格拍卖不同，在最高价格拍卖中，投标人有很强的动机进行欺骗。由于史密斯必须支付他的投标价格，投标价格串谋者为他选择的投标价格 p'将低于 $p'=20$，但是如果 p'比其他投标人的价值 18 要低，他们中的任何一个人通过偏离投标价格但高于 p'将会赢得拍卖，从而获取收益。

从而如果拍卖方担心投标人串谋，他将应用最高价格拍卖。即使如此，如果博弈是重复的，欺骗仍是一个问题。其中在市场中最常见的是相同的投标人在对类似物品的拍卖中一次次相遇的串谋“竞标圈”。因此在古董拍卖 414
中，投标人都是专业的古董经销商，他们的串谋是臭名昭著的（从而，在拍卖中他们“经常”并且重复相遇）。当同一高速公路签约方相互之间为了以最低的成本完成政府的任务进行竞价而重复竞争时也会遇到相同的问题。在萨丹（Sultan，1974）书中的一个例子是 20 世纪 50 年代的电气串谋，其中反托拉斯当局发现了电气发动设备竞标中的串谋行为并起诉了一些大公司的领导人。

13.5 共同价值拍卖和赢家诅咒

在 13.1 节中我们区分了私人价值拍卖和共同价值拍卖。在共同价值拍卖中，物品对所有买者的价值都是相同的，但不同的买者对物品的估价可能是不同的。那里讨论的所有五种拍卖规则均可用于共同价值拍卖，但最优策略是不一样的。在共同价值拍卖中，每一个投标人都能够从其他投标人的出价里获取有关被拍卖物品对自己的价值的有用信息。如下面所解释的，我们还将惊奇地发现：即使在密封出价拍卖里，投标人也能从其他投标人的出价中获取对自己有用的信息。

所有投标人都知道物品价值或与私人价值拍卖没有多大差别的共同价值拍卖不是很有趣。但是在一般情况下投标人必须对物品的共同价值作出估计。从前面对私人价值拍卖的讨论可知，一个显而易见的策略是，风险中立的投标人使自己的出价等于他的价值的无偏估计。但是这个策略将使赢得拍卖的投标人的收益为负，因为这时赢得拍卖的投标人是对他的估计的正误差最大

的人。所以低估了硬币数的参与人会输掉这场拍卖，但他们的收益是零。即使物品的共同价值是公共知识，这些投标人也会接受零收益的结果。在这里只有赢得拍卖的参与人因为估价误差而使自己的境况变糟了：他陷入了**赢家诅咒**（the Winner's Curse），罗特科普夫（Rothkopf，1969）与威尔逊（Wilson，1969）最早刻画了这种情况。

在一些投标人比其他投标人对物品价值的信息更完备时，赢家诅咒更为严重。一个投标人如果知道自己的信息最不完备，他将谨慎竞价。例如，如果一个人击败了 50 位专家而赢得了一场拍卖，那么他就会仔细考虑为什么所有专家的出价会如此之低。但是信息不完备投标人的参与也增加了专家们的危险。任何赢得拍卖的专家不仅要面对来自信息同样完备的 49 位专家的竞争，他还要担心面对一位天真投标人的竞争，该投标人具有较高的过高估计误差，并且投标价格也高。

投标人一旦意识到赢家诅咒的可能并且调整了他们的策略，赢得拍卖者就不会对他的获胜感到后悔。通过对他们的投标价格折价，使之低于他们对物品的估计，赢得拍卖者或许仍是具有较高的过高估计误差的投标人。但是赢得拍卖的竞标价格要低于真实价值，从而这就变成决定一个参与人的投标价值比估计价值要低多少的问题。

这项智力过程与决定私人价值最高价格拍卖中的投标价格多少有点相似。在这里一个投标人希望投标价格低于他的价值，并且他还希望在价格足够低廉时还能赢得拍卖。因此他基于自己的最高价值并在赢得拍卖的情况下，尽力去估计次高投标价格的价值。在共同价值拍卖中，一个投标人的第一步是利用类似的数学方法，但他是基于赢得拍卖而非次高价值来估计他的价值的。

一种考虑投标人条件估价的方法是把它作为条件竞价来对待，投标人知
415 道如果他利用对物品价值的无偏估计赢得拍卖，那么他的出价可能太高了。所以如果他在这种情况下赢得了拍卖，他就会收回他的诺言。相应地，他将提交这样一个出价：如果我输掉了拍卖，我愿意出 X；但是如果我赢得了拍卖，我只愿意出（$X-Y$）。其中 X 是在输掉拍卖时他对物品的估价；而（$X-Y$）是在史密斯赢得拍卖后对物品的较低估价，因为赢得拍卖表明他的过高估计误差在所有投标人中是最大的。如果他能以（$X-Y$）的出价赢得拍卖的话，那么他会很高兴；如果他输掉了这场拍卖，他也没有什么可忧虑的。如果史密斯一开始就只出价（$X-Y$）的话，这个简单出价的效果和前面的出价是一样的。因为在史密斯输掉拍卖的情况下，他的收益的多少与他的价格无关。

另外一种考察赢家诅咒的方法基于米尔格罗姆定义的“坏消息”（Mil-

grom，1981b，Appendix B)。假设政府拍卖一个地块的矿产开采权，矿产对所有投标人的价值都是 v，每个投标人 i 的估价是$\hat{v}_i$。因为自然赋予各个投标人的信息集合不同，所以投标人除了对矿产的估价不同之外，在其他各个方面都是相同的。在对称均衡下，每一个投标人的均衡投标函数 $p(\hat{v}_i)$ 都是一样的。如果投标人 1 对矿产的先验估价为$\hat{v}_1$，并以 $p(\hat{v}_1)$ 的出价赢得了拍卖，那么他对矿产的后验估价 $\bar{v}_1$ 为

$$\bar{v}_1 = E(V \mid \hat{v}_1,\ p(\hat{v}_2) < p(\hat{v}_1),\ \cdots,\ p(\hat{v}_n) < p(\hat{v}_1)) \tag{13.62}$$

式中，$p(\hat{v}_2) < \infty$没有传递任何有用的信息，因此它既不是好消息也不是坏消息。但是 $p(\hat{v}_2) < p(\hat{v}_1)$ 却是一个坏消息，因为它排除了较大的$\hat{v}_2$ 产生 p 值的可能性。实际上 $p(\hat{v}_1)$ 的值越小，赢得拍卖这件事就越糟糕。因此，

$$\bar{v}_1 < E(V \mid \hat{v}_1) = \hat{v}_1 \tag{13.63}$$

如果投标人 1 的出价 $p(\hat{v}_1) = \hat{v}_1$，那么一旦他赢得拍卖，他就会马上为出价太高而后悔。但是，如果他赢得拍卖的出价比$\hat{v}_1$ 低很多，他将会为赢得拍卖而高兴。

决定投标价格下调的比例是一个很困难的问题，因为它取决于其他投标人的投标价格下调的比例。在次高价格拍卖中，一个投标人根据 (13.63) 式计算后验估价 $\bar{v}_1$，但是由于 $p(\hat{v}_2)$ 的存在，该方程计算起来相当复杂，因为 $p(\hat{v}_2)$ 作为 $p(\hat{v}_1)$ 的函数，要应用类似于 (13.62) 式的方程计算得到。

油田和赢家诅咒

海洋石油开采权的投标是最著名的赢家诅咒的例子。由于石油公司必须向政府支付费用以购买海洋油田的勘探开采权，所以即使石油公司开采到了石油，它也有可能发生亏损。卡彭、克拉普和坎贝尔（Capen，Clapp & Campell）在 1971 年发表在《石油工程杂志》（*Journal of Petroleum Engineering*）的一篇文章中提到，美国政府曾经在 20 世纪 60 年代向各个石油公司公开拍卖海洋油田的勘探开采权，因为参加投标的石油公司忽略了赢家诅咒这个问题，所以它们在拍卖中付出了太高的价格。如果石油公司的出价与地质工程师对油田的估价基本相同，而不是在地质工程师的估价上打个折扣再出价，那么，赢得拍卖的石油公司就很可能会在这个投资项目上发生亏损。表 13—1 列出了各个石油公司在密封拍卖中的出价。不同公司的出价可能相差上百倍之多，由此可以清楚地看到拍卖中所存在的赢家诅咒的问题。

表 13—1　　石油公司在竞争非常激烈的石油开采权拍卖中的投标额 单位：百万美元

416

路易斯安那海洋石油 1967 年 SS207 地块	圣巴巴拉海峡石油 1968 年 375 地块	得克萨斯海洋石油 1968 年 506 地块	阿拉斯加北坡石油 1969 年 253 地块
32.5	43.5	43.5	10.5
17.7	32.1	15.5	5.2
11.1	18.1	11.6	2.1
7.1	10.2	8.5	1.4
5.6	6.3	8.1	0.5
4.1		5.6	0.4
3.3		4.7	
		2.8	
		2.6	
		0.7	
		0.7	
		0.4	

米德、莫塞道和索拉森（Mead，Moseidjord & Sorason，1984）等人在随后的研究中表明：如果考察一下石油公司的盈利状况，就会发现这些海洋石油开采项目的利润率并不是特别低，因此，石油公司的出价可能是已经在地质工程师的估价的基础上打了折扣之后的价格。不同出价之间的差距是非常大的，但这并不意味着石油公司没有对它们的原始估价进行折价。尽管在最优的出价时的预期利润为零，但事后实现的利润既可能为正，也可能为负。从概率的角度来说，一个投标人可能会过高地估计被拍卖物品的价值，以至于即使在投标人考虑了赢家诅咒，理性地调低了自己的出价之后，他的出价仍然显得太高。因此，知道最优的出价方法并不能完全消灭坏运气，只能减轻坏运气的影响。

其他投标者的理性行为也是一个需要考虑的因素。如果投标人 Apex 公司在出价时已经考虑到了赢家诅咒，而 Brydox 公司和 Central 公司却没有考虑这个问题。这时 Apex 公司应该如何应对呢？竞争者们向上抬高价格会影响 Apex公司的最优反应。因为过分乐观的竞争者将加剧赢家诅咒的严重性，Apex公司在出价时对其估价所打的折扣就应该更大一些。如果 Apex 公司在拍卖中击败了一个总是出价过高的竞争对手，赢得了拍卖，那么 Apex 公司就很有可能过高地估计了被拍卖物品的价值。

风险规避对拍卖的影响与赢家诅咒对拍卖的影响很相似。如果所有的投标人都是风险规避的，且风险规避程度都相同，那么因为拍卖是一场结果不确定的赌博，所以，被拍卖资产对于风险规避者的价值就相对较低，而买者们的出价也会相对较低。例如，如果史密斯比布朗更厌恶风险，那么史密斯在出价时就会更为谨慎，这种情况源于两个原因。从风险规避的直接影响来说，因为史密斯比布朗更厌恶风险，所以被拍卖资产对史密斯的价值相对就更低一些，原因与前面分析的私人价值情形下类似。从间接影响来说，因为布朗总是出很高的价格，所以如果史密斯击败了布朗而赢得了拍卖，那么史密斯就可能把被拍卖物品的价值估计得太高。如果参与人是风险中性的，即使被拍卖物品对不同参与人的价值互不相同，上面的推理仍然成立。

事实上，卡彭、克拉普和坎贝尔都为 Arco 石油公司工作，他们为石油租赁设计投标策略时就考虑了赢家诅咒问题。公司高管层意识到他们的竞标价格太高了，但是在这三个人提出他们的策略之前，他们并不是很清楚在所有解决方案中，是降低地质上的估计、提高贴现率还是其他手段会更好。在公司内部就是否将赢家诅咒公开化的想法也存在着争论。该想法对 Arco 公司具有优势，但是对忽略它的其他石油公司意味着它们给出了太高的投标价格，这 417
将损害这些公司自己，但也会殃及 Arco 公司。多年以后公司决定披露它们的秘密。(参见“The Tale of the ‘Winner's Curse’”，http：//www. aapg. org/explorer/2004/12dec/capen. cfm。)

赢家诅咒也存在于其他一些似乎与拍卖无关的场合。如果一个工人没有被其他雇主雇用，那么某个雇主在决定雇用这个工人时就要分外小心。求租公寓的人们也不希望自己是在号手邻居还在睡觉时第一个来看房子的人。如果某个公司的竞争者已经考虑了一个投资项目并最终决定放弃，那么该公司在评估这个投资项目时就应该格外谨慎。赢家诅咒也可以应用到政治理论方面，一个创新的提案在政治舞台上不断重复出现。第一个接纳他们的选民是否也受到赢家诅咒的困扰？

另一方面，如果在拍卖过程中披露信息，事实上共同的价值将导致高而不是更低的投标价格。“不固执己见”在共同价值拍卖中是一种理性特征。假设在不是纯共同价值而是共同价值与私人价值混合的情形下，如果一个投标人具有较高的私人价值并且在投标过程中获知共同价值比他想的要高得多，或许他给出的竞标价格要高于他原先计划的价格并且赢得拍卖，但是随后他并不感到懊悔。特别是在这种混合情形下，当投标人具有不同的私人价值并且部分但不是所有投标人可以通过他的投标价格披露自己的信息时，共同价值拍卖的确变得非常复杂。

共同价值拍卖中的策略

米尔格罗姆和韦伯（Milgrom & Weber，1982）发现：当在拍卖中具有共同价值因素并且信号是“联合”的，那么收益等价是错误的。最高价格拍卖与降价拍卖仍然是等价的，但是比升价拍卖或次高价格拍卖提高的收益要少。如果投标人多于两个，升价拍卖比次高价格拍卖要提高更多的收益。（事实上，如果信号是联合的，即使在每个投标人都确切地知道他自己价值的私人价值拍卖中，最高价格拍卖和降价拍卖的情况也会很糟。）

我们在这里不对收益的排序进行一般的证明，但是我们将通过一个具有标准正态分布的估计误差的例子来考察这一点。因为当误差是正态分布时，最优估计的一些特性较容易处理，因此我们就从讨论这些特性开始。

假设从 $[\underline{s}, \bar{s}]$ 上的标准正态分布中得到 n 个相互独立的信号。第 j 高的信号用 $s_{(j)}$ 表示。第 k 高的期望价值为

$$E_{s_{(k)}} = \underline{s} + \frac{n+1-k}{n+1}(\bar{s} - \underline{s}) \tag{13.64}$$

这表明最高价值的期望是

$$E_{s_{(1)}} = \underline{s} + \frac{n}{n+1}(\bar{s} - \underline{s}) \tag{13.65}$$

418 次高价值的期望是

$$E_{s_{(2)}} = \underline{s} + \frac{n-1}{n+1}(\bar{s} - \underline{s}) \tag{13.66}$$

最低价值，即第 n 高价值的期望是

$$E_{s_{(n)}} = \underline{s} + \frac{1}{n+1}(\bar{s} - \underline{s}) \tag{13.67}$$

令有 n 个风险中性的投标人，$i=1, 2, \cdots, n$，每个投标人从 $[v-m, v+m]$ 上的标准正态分布中得到独立的信号 s_i，其中 v 是物品对他们每个人的真实价值。假设他们对 v 具有“事前分散”性，这表明他们认为任何从 $v=-\infty$ 到 $v=\infty$ 上的价值具有相等的可能性。给定 n 个信号，最优的价值估计是

$$Ev \mid (s_1, s_2, \cdots, s_n) = \frac{s_{(n)} + s_{(1)}}{2} \tag{13.68}$$

估计仅依赖于 n 个信号中的两个，这是标准正态分布的显著特性。如果有 5 个信号 {6，7，7，16，24}，物品的期望价值是 $15(=(6+24)/2)$，

明显高于均值 12 和中位数 7，因为只有极端值 6 与 24 是有用的信息。具有如同正态分布一样的峰值的密度函数，会有不同的结果，但是在这里我们从数据中可以得出，所有在 $6+m$ 与 $24-m$ 之间的价值 v 具有相等的可能性。

图 13—4 表明了这为什么是正确的。仅观察到信号 $s_{(4)}$ 和 $s_{(1)}$ 的投标人将要推断 v 不低于 $s_{(1)}-m$ 或不高于 $s_{(4)}+m$。所获得的在这两者之间的信号是没有任何帮助的，因为只有信号 $s_{(2)}$ 表明 $v\leqslant(s_{(2)}+m)$ 和 $v\geqslant(s_{(2)}-m)$，我们观察到的事实已经从 $s_{(4)}$ 和 $s_{(1)}$ 上体现出来。

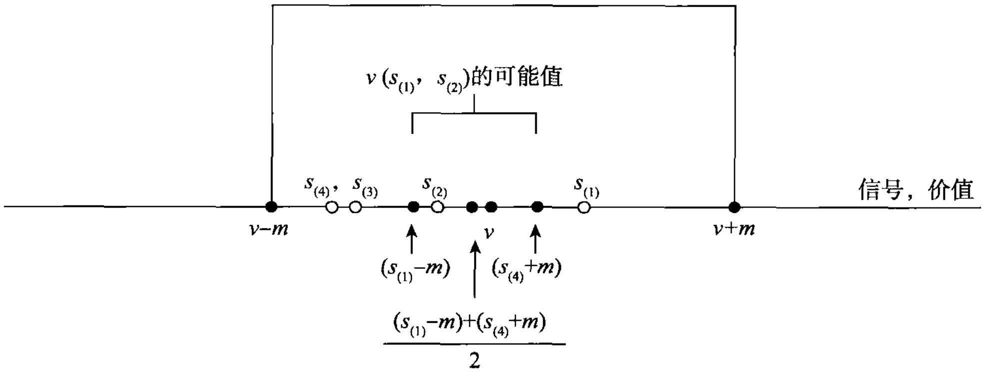


图 13—4　从标准正态分布信号中提取信息

现在我们考察博弈本身，该博弈基于 Paul Klemperer（2000）的导论 419
部分。

正态分布的共同价值拍卖

参与人

一个拍卖方与 n 个投标人。

博弈顺序

（0）自然利用在（$-\infty$，∞）（当 x 趋于无穷时 [$-x$，x] 的极限）上的标准正态密度函数选择物品的共同价值 v，并且应用在 [$v-m$，$v+m$] 上的标准正态分布对投标人 i 发送信号 s_i。

（1）拍卖方基于每一个参与人 p 的选择，选择一个分配物品和支付的机制。他还选择每个投标人选择 p 的程序（序贯的、同时的等）。

（2）每个投标人同时选择参加拍卖或者不参加。

（3）投标人和拍卖方通过机制程序选择价值 p。

（4）物品按照机制确定的支付进行分配和转移。

支付

> 支付依赖于特定的规则，但是如果物品被出售，拍卖方的支付是所有收益的总和，投标人如果赢得拍卖，他的价值就是物品的价值减去他的支付成本。

不同拍卖规则下的对称均衡的策略如何？（我们将忽略可能的非对称均衡。）

升价拍卖（公开退出）

均衡

如果没有投标人退出，投标人 i 将在价格上升到 s_i 时退出，否则他将在价格上升到 $p_i = p_{(n)} + s_i/2$ 时退出，其中 $p_{(n)}$ 是第一个退出发生时的价格。

解释

如果没有投标人退出，投标人 i 支付他的信号 s_i 是安全的。要么（1）他具有最低的信号，要么（2）其他每个人也都具有相同的信号 s_i，他们将在同一时间一起退出。在情形（1）下，由于他具有最低的信号，他没有任何损失。在情形（2）下，最优价值估计是 s_i，这也是他必须退出的价值。

如果一个投标人一旦在 $p_{(n)}$ 时退出，其他投标人可以推断出他具有最低的
420 信号，所以他们知道信号 $s_{(n)}$ 必须等于 $p_{(n)}$。假设投标人 i 具有信号 $s_i > s_{(n)}$。要么（1）其他人具有较高的信号并且投标人 i 总是输掉拍卖，因此过早地退出拍卖也无关紧要；要么（2）其他每个人没有退出，也都具有信号 s_i，他们将在同一时间一起退出；要么（3）他是最后一个退出者，赢得拍卖。在情形（2）和（3）下，他的拍卖价值是 $p_i = p_{(n)} + s_i/2$，因为 $p_{(n)}$ 和 s_i 是极端信号价值，并且信号是标准正态分布的，这也是他必须退出时的价值。

由赢得拍卖者支付的价格将是次高价格投标人退出时的价格，即是 $s_{(n)} + s_{(2)}/2$。从等式（13.66）与（13.67）得到的期望价值为

$$Es_{(n)} = (v-m) + \left(\frac{n+1-n}{n+1}\right)((v+m)-(v-m))$$
$$= v + \left(\frac{1-n}{n+1}\right)m \qquad (13.69)$$

及

$$Es_{(2)} = (v-m) + \left(\frac{n+1-2}{n+1}\right)((v+m)-(v-m))$$
$$= v + \left(\frac{n-3}{n+1}\right)m \qquad (13.70)$$

对此求平均，得到赢得拍卖的期望价格为

$$Ep_{(2)}=\frac{\{v+[(1-n)/(n+1)]m\}+\{v+[(n-3)/(n+1)]m\}}{2}$$

$$=v-\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{n+1}\right)2m \tag{13.71}$$

如果 $m=50$ 并且 $n=4$，那么

$$Ep_{(2)}=v-\frac{1}{10}\times 100=v-10 \tag{13.72}$$

拍卖方的期望收益对投标人的数量（即独立信号）n 是递增的，对不确定性（信号的精确程度）m 是递减的，这对我们在这里考察的三种拍卖规则都是正确的。

投标人能从升价拍卖中推断出最低的信号，并且用来设定他们自己的投标价格，这并不总是正确的。他们发现 $s_{(n)}$ 的能力严格依赖于拍卖的公开退出特性，即具有最低信号的参与人要公开退出而不是私底下默默退出。一个秘密退出的升价拍卖与一个次高价格拍卖具有相同的行为。

次高价格拍卖

均衡

投标价格 $p_i=s_i-\frac{n-2}{n}m$。

解释

投标人 i 为了形成他的策略，要考虑自己与其他投标人打成平局的情形， 421
并且他的支付恰好就是他的竞标价格。如果他与其他投标人打成平局（不是其他情形），他的准确的投标价格将影响他的收益。他假设自己就是在 $[v-m, v+m]$ 上的 $(n-1)$ 个投标人中价格最高的人，并且所有的人之间都打成平局，如果是这样，平均而言，

$$s_i=(v-m)+\left(\frac{([n-1]+1-1)}{[n-1]+1}\right)([v+m]-[v-m])$$

$$=(v-m)+\left(\frac{n-1}{n}\right)2m$$

$$=v+\left(\frac{n-2}{n}\right)m \tag{13.73}$$

他求解（13.73）式，得到价值 v 作为他的投标价格，得到最优策略是

$p_i = s_i - \frac{n-2}{n}m$。

从平均结果上看，次高价格投标人从（13.70）式得到信号 $Es_{(2)} = v + \frac{n-3}{n+1}m$。所以拍卖的期望价格，从而也是期望收益为

$$\begin{aligned} Ep_{(2)} &= \left[v + \left(\frac{n-3}{n+1}\right)m\right] - \left(\frac{n-2}{n}\right)m \\ &= v + \left(\frac{n(n-3)-(n+1)(n-2)}{(n+1)n}\right)m \\ &= v - \left(\frac{n-1}{n}\right)\left(\frac{1}{n+1}\right)2m \end{aligned} \tag{13.74}$$

如果 $m = 50$，$n = 4$，那么

$$Ep_{(2)} = v - \frac{3}{4} \times \frac{1}{5} \times 100 = v - 15 \tag{13.75}$$

如果至少有三个投标人，在次高价格拍卖中的期望收益较低。(在升价拍卖中 $n = 4$ 时的收益是$(v-10)$)。如果 $n=2$，次高价格拍卖与升价拍卖中的期望价格是一样的，则 $v_{(n)} = v_{(2)}$。所以在两种拍卖中赢得拍卖的价格基于相同的信息。

最高价格拍卖

均衡

投标价格是$(s_i - m)$。

解释

422 这是三种策略中最简单但是最难求得的一种策略。投标人 i 对不依赖于他的信号 z 的投标价格为$(s_i - z)$，因为在给定事先分散的假设下，他不知道他的信号是高还是低，定义 T_i 为信号 s_i 与最小可能价值$(v-m)$ 之差，所以

$$T_i \equiv s_i - (v - m) \tag{13.76}$$

故 $s_i \equiv v - m + T_i$。如果 T_i 足够大，这时的概率是$\left(\frac{T_i}{2m}\right)^{n-1}$，我们将其定义为 $G(T_i)$，因为它是$(n-1)$ 个其他信号都小于 $s_i \equiv v - m + T_i$ 的概率，这样投标人 i 具有最高的信号并且赢得拍卖。如果他赢得拍卖，他的收益为 v 减去他的投标价格$(s_i - z)$，等于$(z + m - T_i)$。

相反地，如果投标人 i 通过偏离一个很小的数量ϵ得到高一点的价格，他赢得拍卖的概率也比较高，为 $G(T_i + \epsilon)$，但如果他能以较低的价格就可以赢

得拍卖，他将损失ϵ，应用泰勒展开式，$G(T_i+\epsilon)\approx G(T_i)+G'(T_i)\epsilon$，所以

$$G(T_i+\epsilon)-G(T_i)\approx(n-1)T_i^{n-2}\left(\frac{1}{2m}\right)^{n-1}\epsilon \tag{13.77}$$

竞标价格较高的好处是赢得拍卖的概率较高，为 $[G(T_i+\epsilon)-G(T_i)]$ 乘以赢得的剩余 $(z+m-T_i)$。投标价格较高的损失是投标人必须承担额外的费用ϵ，而这时在任何情况下他都会赢得拍卖的概率为$\left(\frac{T_i}{2m}\right)^{n-1}$。在均衡中，无穷小的偏离对他是无差异的，对他的所有可能的“信号极点”T_i 的数值取期望，所以

$$\int_{T_i=0}^{2m}\left[\left((n-1)T_i^{n-2}\left(\frac{1}{2m}\right)^{n-1}\epsilon\right)(z+m-T_i)-\epsilon\left(\frac{T_i}{2m}\right)^{n-1}\right]\left(\frac{1}{2m}\right)\mathrm{d}T_i=0 \tag{13.78}$$

这表明

$$\epsilon\left(\frac{1}{2m}\right)^n\int_{T_i=0}^{2m}[((n-1)T_i^{n-2})(z+m)-(n-1)T_i^{n-1}-T_i^{n-1}]\mathrm{d}T_i=0 \tag{13.79}$$

也就是

$$\Big|_{T_i=0}^{2m}\quad(T_i^{n-1}(z+m)-T_i^n)=0 \tag{13.80}$$

所以 $(2m)^{n-1}(z+m)-(2m)^n-0+0=0$ 以及 $z=m$。投标人 i 在对称均衡中的最优策略是给出投标价格 $p_i=s_i-m$。

赢得拍卖的投标价格由最高信号的投标人设定，且该最高信号的期望价值是 423

$$\begin{aligned}Es_{(1)}&=\underline{s}+\left(\frac{n+1-1}{n+1}\right)(\bar{s}-\underline{s})\\&=v-m+\left(\frac{n}{n+1}\right)((v+m)-(v-m))\\&=v-m+\left(\frac{n}{n+1}\right)2m\end{aligned} \tag{13.81}$$

从而期望收益是

$$Ep_{(1)}=v-1\times\left(\frac{1}{n+1}\right)2m \tag{13.82}$$

如果 $m=50$，$n=4$，那么

$$Ep_{(1)} = v - \frac{1}{5} \times 100 = v - 20 \tag{13.83}$$

这里的收益比在次高价格拍卖中的收益（$v-15$）还要低（即使 $n=2$，收益也比较低）。

从而对拍卖方的期望收益的排序是：升价公开退出拍卖具有最高的期望收益，次高价格拍卖的收益居中，最高价格拍卖的收益最低。收益依赖于投标人在每种拍卖规则下相互之间价格竞争的强度，从而也依赖于最高信号投标人具有的信息优势是多少。在升价拍卖中，所有的投标人都知道 $s_{(n)}$，赢得拍卖的价格和赢得拍卖的投标人依赖于 $s_{(2)}$ 和 $s_{(1)}$，所以具有最高信号的投标人有较小的相对优势。在次高价格拍卖中，赢得拍卖的价格和赢得拍卖的投标人依赖于 $s_{(2)}$ 和 $s_{(1)}$，信息仅被这两个投标人获知。在最高价格拍卖中，赢得拍卖的价格和赢得拍卖的投标人只依赖于 $s_{(1)}$，所以只有具有最高信号的投标人有相关信息。因此，在该拍卖规则下他的信息租金最大。与此矛盾的是，投标人偏好他们难以汇集信息和准确估计 v 的拍卖规则。或许这不是自相矛盾的。最受拍卖方欢迎的是让每个投标人都如实地公布他的信号，因为这样做使得每个投标人都具有相同的估计，这也是每个人给出的投标价格，从而信息租金会下降为零。

13.6 非对称均衡、关联、联结：钱夹博弈

共同价值拍卖中的非对称均衡

在共同价值拍卖中，除了我们已经讨论过的对称均衡外，还有典型的、
424 稳健的、可信的非对称均衡。这是因为投标人 i 所面对的赢家诅咒的严重性依赖于其他投标人的竞标行为。如果其他投标人的竞标价格竞争力非常强，那么如果 i 赢得拍卖，他对物品的价值是高估的。所以其他投标人的竞争性越强，投标人 i 应当越保守，从而使得其他投标人更加具有竞争性。克伦佩雷尔（Klemperer，1998）的钱夹博弈就描述了这种情况。

钱夹博弈

参与人

史密斯和琼斯。

博弈顺序

（0）自然利用密度函数 $f_1(s_1)$ 和 $f_2(s_2)$ 选择每个参与人钱夹里

的现金数量 s_1 和 s_2。每个参与人只能观测到他自己钱夹里钱的数量。

（1）每个投标人选择投标价格上限 p_1 或 p_2。拍卖人通过逐步提高价格一直达到 p_1 或 p_2，从而得到这两个钱夹中的钱。

支付

竞标价格较低的参与人的支付为零，赢得拍卖的参与人支付输掉拍卖的参与人的投标价格的上限，所以他的支付是

$$S_1+S_2-\text{Min}(p_1, p_2) \tag{13.84}$$

投标人 i 的对称均衡是选择投标价格上限 $p_i=2s_i$。这是一个均衡，因为如果他在该价格下恰好赢得拍卖，投标人 j 的信号必须是 $s_j=s_i$，且钱夹的价值是 $2s_i$。如果投标人 i 的投标价格比较低，他或许失掉了按低于钱夹里钱的价值来购买它的一个机会。如果他的投标价格较高，只有当 $p>2s_j$ 时，他才能赢得拍卖，这表明 $p>s_j+s_i$。

该均衡清楚地表明，投标人的策略要基于他所期望的其他投标人所采用的策略。注意到投标人 i 的策略与他对投标人 j 的价值的先验推断是无关的，例如，应用 $f_2(s_2)$，得到 s_2 的期望价值是 100，但是如果投标人 1 的钱夹中有 $s_1=8$，他的投标价格是 16。这样做他或许会输掉拍卖，但是如果他的投标价格是 108 并且赢得拍卖，这仅仅是因为投标人 2 的钱夹中有 54 或更少。如果钱夹中有 8 或更少，这是最好不过的，但是如果钱夹中有 $s_2=9$，那么投标人 2 将给出投标价格 18 后停止。投标人 1 按他的投标价格上限 108 会赢得拍卖，他的支付是 $8+9-18=-1$。

钱夹博弈是同时具有独立价值和纯公共价值的一个奇怪的组合。这两个钱夹的价值对两个投标人是相同的，但是每个投标人收到的信号是独立的。知道 s_1 对预测 s_2 是无用的，虽然它对预测共同价值是有用的。

投标人的最优策略对其他人的策略的推断相当敏感，这是因为信号是独 425
立的，而他自己的信号不能告诉他关于其他投标人信号的任何情况，他必须依赖于其他投标人的投标价格所反映出来的所有信息，从而有许多非对称均衡。其中之一是（$p_1=10s_1$，$p_2=(10/9)s_2$）。如果两个参与人选择打成平局 $p=p_1=p_2$，那么 $10s_1=(10/9)s_2$，这表明 $s_1=(1/9)s_2$，所以 $s_1+s_2=10s_1=p$，并且 $v=p$。这对投标人 2 来说不是一个好的均衡，因为他几乎不能赢得拍卖，并且即使他赢得拍卖，也是因为 s_1 非常低，所以在投标人 1 的钱夹中没有钱。在均衡中成为富有竞争力的投标人是重要的，如同贝克查丹（Bikhchandani，1988）列举的一个序贯拍卖，这表明建立富有竞争性的信誉是有价值的。

即使参与人是同质的，也可以得到非对称均衡。次高价格和两人共同价值拍卖除了我们已经讨论过的对称均衡外（参见 Milgrom（1981c）和 Bikhchandani（1988）），通常还具有多个非对称均衡。假设史密斯和布朗具有相同的支付函数，但是史密斯认为布朗给出了竞争性较强的投标价格。对史密斯而言，这强化了赢家诅咒，如果他在与像布朗一样的竞争性强的投标人的竞争中赢得拍卖，他可能是高估了物品的价值，所以史密斯的投标价格比较保守。但是如果史密斯的投标价格比较保守，布朗富有竞争性的投标价格是安全的，这就得到一个非对称均衡。鉴于这种原因，获得一个富于竞争性的声誉是有价值的。

非常奇怪的是，如果有三个或更多的投标人，次高价格和共同价格拍卖只有唯一的均衡并且是对称的。公开退出升价拍卖则有所不同：它有非对称均衡，因为一个投标人退出后，剩余的两个投标人知道他们是在一个两个投标人拍卖的子博弈中。不管投标人的数量是多少，最高价格拍卖没有这种类型的非对称均衡。最高价格拍卖中的威胁成本较高，因为较高投标价格的投标人需要支付他的投标价格，即使他的竞争对手对应的投标价格较低。所以一个投标人的竞争性不能通过威吓另一个投标人而使自己更安全。

关联、单调似然比特性以及联结原理[6]

米尔格罗姆和韦伯（Milgrom & Weber，1982）介绍了**关联**（affiliation）的概念：在拍卖背景下，两个变量一起向上运动的趋势的正式定义非常有用。假设投标人 1 具有价值 v_1，该价值是他收到的私人信号 x_1 的递增函数，它也依赖于投标人 2 的私人信号 x_2。我们需要分析在投标人 1 观测到或推断出投标人 2 的信号的拍卖中，投标人 1 对他自己价值的估计将会怎样。一个简单可行的情形是，当他获知 x_2 取一个较大的数值，他自己的估计价值 v_1 也会增加。从而，如果他观测到投标人 2 的投标价格高，他推断出 x_2 较大，他就会提高他的估计 v_1。如果信号 x_1 和 x_2 是强关联的，关联定义的就是这种情形；如果它们是弱关联的，则投标人 1 的估计 v_1 在 x_2 上升时至少不会下降。为简单起见，我通过两种信号的情形来定义关联。

426 **定义**：信号 x_1 和 x_2 是关联的，如果对 x_1 所有的实现值小＜大，对 x_2 所有的实现值低＜高，联合概率 $f(x_1, x_2)$ 满足

$$f(x_1=\text{小}, x_2=\text{低})f(x_1=\text{大}, x_2=\text{高})$$
$$\geqslant f(x_1=\text{小}, x_2=\text{高})f(x_1=\text{大}, x_2=\text{低}) \tag{13.85}$$

从而关联表明 x_1 和 x_2 按相同的方向移动的概率比按相反方向移动的概率要大。注意到这时的联合概率分布如下，其中即使 x_2 是低，x_1 可能是大。

$\text{Prob}(x_1=\text{大}, x_2=\text{高})=0.5$

$\text{Prob}(x_1=\text{小}, x_2=\text{低})=0.1$

$\text{Prob}(x_1=\text{大}, x_2=\text{低})=0.2$

$\text{Prob}(x_1=\text{小}, x_2=\text{高})=0.2$

假设投标人 3 对 x_1 和 x_2 都是一无所知的，但如果他获知 x_2 是低，则能够推断出 x_1。投标人 3 的先验概率是

$$\begin{aligned}\text{Prob}(x_1=\text{大}) &= \text{Prob}(x_1=\text{大}, x_2=\text{高})+\text{Prob}(x_1=\text{大}, x_2=\text{低})\\ &= 0.5+0.2=0.7\end{aligned} \tag{13.86}$$

假设投标人 3 发现 x_2 是低。我们可以利用类似贝叶斯法则的处理方法，虽然不是贝叶斯法则本身。因为

$$\text{Prob}(x_1=\text{大}, x_2=\text{低})=\text{Prob}(x_1=\text{大} \mid x_2=\text{低})\text{Prob}(x_2=\text{低}) \tag{13.87}$$

我们可以将投标人 3 的后验概率写为

$$\begin{aligned}\text{Prob}(x_1=\text{大} \mid x_2=\text{低}) &= \frac{\text{Prob}(x_1=\text{大}, x_2=\text{低})}{\text{Prob}(x_2=\text{低})}\\ &= \frac{0.2}{\text{Prob}(x_1=\text{大}, x_2=\text{低})+\text{Prob}(x_1=\text{小}, x_2=\text{低})}\\ &= \frac{0.2}{0.2+0.1}\end{aligned} \tag{13.88}$$

从而观测到 x_2 是低使得投标人 3 仍然可能认为 $x_1=$大，但是概率从 0.7 下降至 0.66。$x_2=$低是关于 x_1 值的坏消息。

两个信号是关联的更大含义是：以信号为条件赢得拍卖的期望价值对所有信号都是递增的。如果一个信号增加，这对发现它的参与人具有正向影响，从而该参与人提高他的投标价格，一旦其他参与人发现该参与人的投标价格增加，就推断出他具有一个高的信号，从而信号增加具有非负向的效应。

这与单调似然比特性非常相似，它是用条件密度和后验概率来表述相同的事情。

定义：*条件概率 $g(x_1|x_2)$ 满足单调似然比特性，如果似然比对 x_1 是弱* 427
递减的，即对 x_1 所有的实现值小＜大和 x_2 所有的实现值低＜高，有

$$\frac{g(\text{大} \mid \text{低})}{g(\text{大} \mid \text{高})} \leqslant \frac{g(\text{小} \mid \text{低})}{g(\text{小} \mid \text{高})} \tag{13.89}$$

单调似然比特性表明当 x_2 从低到高，x_1 的大的数值实现的可能性相对较大。可以证明，这表明对任意的 z，对给定的 x_2，从 x_1 到 $x_1=z$ 的条件累积

分布对 x_2 是弱递增的，即以大的 x_2 为条件的分布 $G(x_1|x_2)$ 随机占优以小的 x_2 为条件的分布 $G(x_1|x_2)$。

尽管我试图简化问题，但读者可能与作者一样觉得难以置信。关联的一个等价性定义的最后应用是：当信号按联合密度分布 $f(x_1, x_2)$ 是连续的和二次可微的，如果

$$\frac{\partial \log(f)^2}{\partial x_1\, \partial x_2} \geqslant 0 \tag{13.90}$$

则 x_1 与 x_2 是关联的。

建立投标人信号之间的关联，可以得到**联结原理**（the linkage principle），联结原理表明，当投标人获得关联信息的数量上升时，均衡销售价格就会变得越来越高。从而拍卖方将尽可能地采取措施披露他所拥有的任何关联信息。另外，在拍卖过程中拍卖规则（例如公开退出拍卖）或者应用于决定赢得拍卖者的支付（例如次高价格拍卖）能披露关联信息，这将提高拍卖的价格。我们在统一信号共同价值拍卖的例子中看到了这一点。当然，该结果不只局限于共同价值拍卖，在关联私人价值拍卖中，当关联信息披露时，拍卖者的收益也会增大，其中投标人知道他们自己的私人价值，但是不知道其他人的私人价值。联结原理背后的直观解释很难领会，因为即使没有赢家诅咒的情况下（如在关联私人价值拍卖中）也可以应用，它在共同价值拍卖中（我们在上面已经看到，恰好只有两个投标人的升价拍卖并不比次高价格拍卖优越）也不常用。我看到的最好的直观解释是克伦佩雷尔（Klemperer，2004，p.128）给出的：投标人的利润随着他们私人信息的增加而递增，每个投标人显示关联信息可以增加私人信息的披露，特别是包括赢得拍卖者的信息，从而加剧了投标人之间的竞争。

联结原理给出了为什么拍卖方希望将拍卖扩展为多轮；为什么他们鼓励投标人全程积极投标而不是让他们“潜伏下来”，直到竞标快结束时再突然参加投标；为什么他们尽可能及早清楚地披露他们自己的信息；以及为什么让投标人相互了解各自的特性的原因。当然该思想是易变的，佩里和雷尼（Perry & Reny，1999）表明如果被拍卖的物品超过 1 单位，联结原理就会失效，所以参与人提交购买多单位产品的竞标价格。多单位拍卖和“打包拍卖”，即在一次拍卖中不仅出售多单位产品而且还包括多种物品，是研究的活跃领域。

注

N13.1 私人和共同价值，连续和离散估价

428 • 米尔格罗姆和韦伯（Milgrom & Weber，1982）列出了拍卖的许多方

面的经典文献，麦卡菲和麦克米兰（McAfee & McMillan，1987）给出了对拍卖理论的较早的优秀综述，他们尽力将这些理论与非对称信息模型联系起来。最近的是 Maskin（2004）。克伦佩雷尔（Klemperer，2000）在他编辑的一本书中搜集了许多重要的文献。维加·克里希纳 2002 年的《拍卖理论》（*Auction Theory*），克伦佩雷尔 2004 年的《拍卖：理论与实践》（*Auctions: Theory and Practice* ）（该书的技巧性相对不太高）和保罗·米尔格罗姆 2004 年的《拍卖理论的应用》（*Putting Auction Theory to Work*）（该书的数学假设非常好）都是很好的教材。我个人特别喜欢埃尔玛·沃尔夫斯泰特（Elmar Wolfstetter）1999 年的《微观经济学专题：产业组织、拍卖和激励》（*Topics in Microeconomics: Industrial Organization, Auctions, and Incentives*）的拍卖章节。保罗·米尔格罗姆的咨询公司安格拉市场设计公司的网站搜集了许多优秀的工作论文，你可以访问网站 http://www.market-design.com。

- 卡萨迪（Cassady，1967）提供了网络时期以前的详细的制度方面的资源，在他的书的附录中包括了广告和一系列拍卖规则，他引用了多篇报纸文章。与拍卖理论恰好同一时间兴起的网络是理想的工具。参见 Bajari & Hortacsu，*Economic Insights from Internet Auctions*，2004。

N13.2 私人价值拍卖中不同规则下的最优策略

- 许多（全部?）拍卖理论家的领军人物在 1994 年参与到美国政府 70 亿美元的频谱拍卖（spectrum auction）中，要么帮助政府选择出售频谱的拍卖规则，要么帮助投标人决定如何购买。保罗·米尔格罗姆 1999 年的《私有化拍卖理论》（*Auction Theory for Privatization* ）一书中叙述了该事件。还可以参见麦卡菲和麦克米兰（McAfee & McMillan，1996）在频谱拍卖中的有趣的制度细节，这激发了新理论的研究，例如艾尔斯和克莱姆顿（Ayres & Cramton，1996）研究了这种可能性：为帮助特定的投标人群而设计的乐观行动条款的确能提高收益，收益的这种提高是由于拍卖方在拍卖中提高了竞争的程度导致的。
- 读者可能会认为：因为在公开叫价拍卖中投标人的出价每次只上升一个很小的ϵ，所以这时的最高价格和次高价格实际上是一样的，因而最高价格公开出价拍卖和次高价格公开出价拍卖的结果也是一样的。但是，在次高价格公开出价拍卖中，投标人有可能操纵拍卖。假设某一

物品价值 80 美元，如果某一个买者先出价 10 美元，然后另外一个买者就能放心大胆地出价 1 000 美元。这时，没有人会出更高的价格，因此，后者只须付出 10 美元就能买下被拍卖的物品。

- 因为拍卖非常规范化，而且能产生大量的数据，所以拍卖就特别适合于做实证研究。亨德里克斯和波特（Hendricks & Porter，1998）给出了拍卖理论与数据之间的经典比较。参见巴佳瑞、洪和瑞安（Bajari，Hong & Ryan，2004）或阿西和海尔（Athey & Haile，2005）以及亨德里克斯和波特关于拍卖实证研究的综述（即将出版）。
- 在法国的公开出价的艺术品拍卖里，当出价最高者出完价，拍卖即将结束时，卢浮宫的代表有权举起手来说“pre-emption de l'etat”，然后以拍卖中的最高出价买下该艺术品（参见 *Economist*，May 23，1987，p. 98）。这对投标人的均衡策略会有什么影响？如果卢浮宫能够把艺术品再拿出来拍卖，情况又会如何？
- **份额拍卖**（share auction）：在份额拍卖里，投标人在出价的同时也给出了购买数量。出价最高的投标人可以按照他的出价购买他所需数量的货物，如果货物还有剩余，那么出价第二高的投标人就按照他的出价再购买他所需数量的货物，依此类推，直至货物拍卖完为止。这种
429 拍卖允许一个投标人同时提交若干个被称为购买计划（schedule of bids）的价格/购买数量组合。份额拍卖的具体细节各不相同，既可以是最高价格拍卖，也可以是次高价格拍卖。份额拍卖的模型很复杂，参见 Wilson（1979）。

N13.3 收益等价性、风险规避与不确定性

- 乔和盖尔（Che & Gale，1998）指出在私人价值拍卖中，如果投标人因为预算约束而不是偏好导致各自不同的支付意愿，那么收益等价性定理失效。下面从他们论文第 2 页摘录的例子证明了这一点。假设受预算约束的两个投标人对一物品进行投标。在拍卖 1 中，每个投标人的预算约束为 2 且每个人只知道自己的价值，该价值服从 [0，1] 上的均匀分布。这时预算约束并不起作用，在最高价格拍卖或次高价格拍卖中得到的期望价格均为 1/3。在拍卖 2 中，每个投标人只知道自己的预算约束，该预算约束服从 [0，1] 上的均匀分布。两个人对物品的估计价值都为 2。这时预算约束总是起作用，因此在任何拍卖规则下，均衡策略是将每个人的预算作为投标价格。在次高价格拍卖中的

期望价格仍然是 1/3，但是在最高价格拍卖中的期望价格是 2/3，从而拍卖方喜欢采用最高价格拍卖。

- **榨取所有剩余的机制**。迈尔森（Myerson，1981）证明，如果投标人的私人信息是相关的，拍卖方通过设计一些类似于我们在第 10 章中讨论的交叉检验机制，就可以获取所有的信息和所有的剩余。在统一信号共同价值拍卖中，信号在 $[v-m, v+m]$ 上服从均匀分布。投标人 i 的投标价格为 s_i，物品被分配给最高投标价格为 $s_{(1)}+s_{(n)}/2$ 的投标人，该价格是对 v 的无偏估计。如果投标人的报告是 $s_{(n)}<s_{(1)}-m$，这在所有的投标人说真话的情况下不太可能发生，因此通过得到大的负收益这一严厉的惩罚，可以保证投标人说真话。

N13.5 共同价值拍卖和赢家诅咒

- 罗特科普夫（Rothkopf，1969）与威尔逊（Wilson，1969）好像是最先发表关于赢家诅咒的文章的人，在 http：//www.aapg.org/explorer/12dec/capen.cfm 上的一篇爱德华·卡彭（Edward Capen）写的文章《赢家诅咒的故事》（*The Tale of the "Winner's Curse"*）中认为该术语由卡彭、克拉普和坎贝尔（Capen，Clapp & Campell，1971）第一次提出。我之所以推荐这篇文章是因为它将理论应用到商业实践中。
- 赢家诅咒以及公共价值和私人价值的思想具有广泛的应用。赢家诅咒与本书 2.4 节讨论过的"回归中庸"的思想是相关的。卡普劳和沙维尔（Kaplow & Shavell，1996）应用该思想讨论产权和债务规则，这是在法律和经济中的一个标准规则选择。如果某人违反产权规则，受害方可以取消该侵犯行为，如要求一个小偷归还盗窃的财产；如果某人违反债务规则，受害方只能得到金钱补偿，如要求违反合同的某人向受害方赔偿损失。凯普劳和沙维尔认为如果一件商品具有独立的价值，采用债务规则是最好的，因为它对制止违约提供了有效的激励；但是如果商品具有共同价值并且法院在测量共同价值时有误差，产权规则会是较好的（参看他们的论文第 761 页）。

N13.6 非对称均衡、关联、联结：钱夹博弈

- 如果物品对投标人的价值是独立的，但投标人对物品的评价是相关的，那么投标人这时的最优出价策略和私人价值拍卖的最优出价策略是相同的。如果每个投标人的估价都比实际价值高了 10%，那么参与人就不能从其他人的估价中得到有关物品价值的有用信息。 430

习　题

13.1　寻租（中等难度）

在 16 世纪的英国有两个风险中性的邻居：史密斯和琼斯。两个人被卷入了一场诉讼，而且他们都向法官行贿以求赢得诉讼。向法官行贿更多的人会得到一笔价值 2 000 英镑的财产；如果两人的行贿金额相同，则各以 50%的概率得到这笔财产。行贿的金额只能是 0、900 英镑和 2 000 英镑三种。

（a）这个博弈的唯一的纯策略均衡是什么？

（b）假设除了上面三种行贿金额之外，现在行贿的金额还可以是 1 500 英镑，这时博弈还有没有纯策略均衡？为什么？

（c）在（b）的扩展博弈里，对称的混合策略均衡是什么？法官的期望收益是多少？

（d）在（b）的扩展博弈里，如果失败的诉讼人能够索回自己的贿赂，这时博弈的两个均衡是什么？法官会喜欢这个规则吗？

13.2　香港地区的建立（中等难度）

大班和布洛克一起参加了一场英国式拍卖，两人在拍卖中竞买一块位于香港一座小山上的土地。他们的出价必须是整数，大班先出价。拍卖不允许试出价，出价之后也不许反悔。这块地对于布洛克的直接价值为 1，对于大班的直接价值为 2。但是，大班公开宣称他要买下这块地，所以，如果布洛克赢得拍卖的话，“面子”上的损失为 10，布洛克在“面子”上的收益为 5。另外，布洛克很憎恶大班，因而如果大班为这块地多付出 1 个单位货币，布洛克的效用就提高 1 个单位。

（a）首先假设不考虑“面子”或“憎恶”而只考虑直接价值。如果大班首先投标，均衡是什么？

（b）继续假设不考虑“面子”或“憎恶”而只考虑直接价值。如果布洛克首先投标，三种可能的均衡是什么？（提示：其中的一个是布洛克赢得拍卖；另外两个是大班赢得拍卖。）

（c）请将表 13—2 的空白填上。包括考虑“面子”或“憎恶”的情况。

表 13—2　　**大班博弈**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
如果布洛克赢得拍卖												

续前表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\pi_{布洛克}$												
$\pi_{大班}$												
如果布洛克输掉拍卖												
$\pi_{布洛克}$												
$\pi_{大班}$												

（d）在均衡状态下，谁将赢得拍卖？他所付出的价格是多少？

（e）如果大班能够事先承诺他将采取某个策略，情况将会发生什么变化？

（f）如果大班不能事先承诺他将采取某个策略，但是大班也很憎恶布洛克，假设布洛克为这块地多付出 1 个单位货币，大班的效用也提高 1 个单位， 431
这时拍卖结果又如何？

13.3　政府和垄断（中等难度）

假设在某个装饰品市场中，Apex 公司是在位者，而 Brydox 公司正在争取政府的准入证，是潜在的进入者。Apex 公司试图阻止一项要求它和 Brydox 公司共享这种装饰品的专利权的法案，而 Brydox 公司则希望有关部门能早日通过这个法案。向通信管理委员会主席提供竞选资金最多的公司将会赢得这场斗争的胜利，而失败者无须付出任何成本。需求曲线为 $P=25-Q$，边际成本恒等于 1。

（a）如果两家公司的行为像伯特兰模型所描述的那样，那么哪家公司的出价更高？最高出价是多少？

（b）如果两家公司的行为像古诺模型所描述的那样，那么哪家公司的出价更高？最高出价是多少？

（c）如果两家公司的行为像古诺模型所描述的那样，而且 Apex 公司宣布：如果法案通过，那么它将把专利权免费赠给任何一家想得到这项专利权的公司，这时情况将会发生什么变化？Apex 公司的出价是多少？

13.4　愚蠢的投标者（难）

某一物品的私人部分对史密斯的价值为 1，另外一部分价值 Z 对琼斯和布朗是共同的。琼斯和布朗的私人部分的价值都为零。每个投标人独立地对物品的共同价值 Z 进行估价，投标人 i 对共同价值的估价以相同的概率比 Z 高 x_i 或低 x_i。琼斯和布朗很愚蠢，他们的出价总是等于他们对物品的估价。拍卖是升价拍卖。史密斯知道所有 x_i 的三种价值，但是不知道他的估计是高还

是低。

(a) 如果 $x_{史密斯}=0$，且史密斯估计 $Z=20$，此时，史密斯的优势策略是什么？

(b) 如果对于所有的参与人都有 $x_i=8$，史密斯估计 $Z=20$，他对 Z 取不同的值所给出的概率是多少？

(c) 如果对于所有的参与人都有 $x_i=8$，史密斯确切地知道 $Z=12$，他对琼斯和布朗不同出价组合所给出的概率是多少？

(d) 如果对于所有的参与人都有 $x_i=8$，且史密斯估计 $Z=20$，为什么史密斯的最高出价是 9 而不是 21？

(e) 假设史密斯需要花费 0.001 向他的竞争投标人琼斯和布朗解释最优投标策略。他愿意这样做吗？

13.5 不完全信息的茶壶拍卖（容易）

史密斯认为布朗对拍卖中出售的茶壶按相等的概率估计价值要么是 0，要么是 100。史密斯的价值 $v_s=400$ 对两个投标人都是已知的。

(a) 在一个公开喊价拍卖中，投标人的均衡策略是什么？你可以假定如果出现平局，史密斯赢得拍卖。

(b) 在最高价格密封拍卖中，投标人的均衡策略是什么？你可以假定如果出现平局，史密斯赢得拍卖。

(c) 现在令 $v_s=102$ 而不是 400。史密斯会采用纯策略吗？布朗呢？你不必求出真正应用的策略。

拍卖：第 13 章的课堂博弈

432 在课堂上老师带了一罐硬币进行拍卖，钱罐中的硬币数量按均匀分布从 0 到 100。当展示钱罐中的硬币时，课堂上 20% 的学生必须闭上眼睛。然后老师将钱罐展示给课堂上其他的学生，让他们猜测里面有多少枚硬币。然后他将钱罐拍卖五次，采用五种不同的拍卖规则（老师自己决定是用真正的硬币或不是）。

第一次拍卖采取最高价格拍卖。每一个学生给出一个投标价格并且记录下他对硬币数量的估计。

第二次拍卖采取次高价格拍卖。每一个学生给出一个投标价格并且记录下他对硬币数量的估计。

第三次拍卖采取全付拍卖。每一个学生给出一个投标价格并且记录

下他对硬币数量的估计。

第四次拍卖采取降价拍卖。拍卖结束后，每一个学生给出他对硬币数量的估计。

第五次拍卖采取升价拍卖。拍卖结束后，每一个学生给出他对硬币数量的估计。

这时老师宣布罐中硬币的数量以及每轮拍卖的结果。

【注释】

[1] 当然颤抖的手均衡将会剔除这类均衡。例如投标人 1 可能会颤抖且投标价格为 4，投标人 2 的投标价格将不低于 4。投标价格恰好与投标人 1 的价值相同，与低于投标人 1 价值的投标价格相比，它是弱占优策略，但如同我们在第 3 章看到的，伯特兰博弈中纳什均衡策略是弱占优策略。

[2] 如果 $n>2$，可以证明在博弈中存在非对称均衡的连续统，但如果 $n=2$，则可以证明该博弈中有一个唯一的均衡。参见完全信息下的全付拍卖的所有特征（Kovenock, Baye & de Vries (1996)）。

[3] 该解释可参见 Wolfstetter（1999）的中文版本的英文草稿的第 8 章。

[4] 问题的二阶条件是 $d^2\pi(p^*)/dp^{*2}=-2f(p^*)+f'(p^*)[p^*-v_s]\leqslant 0$。这可能是错误的，在任何情况下，$p^*$ 的许多值能满足等式（13.55），所以它只是一个必要条件而非充分条件。得到 $p^*>v_s$ 的另一途径是，由 $d^2\pi(p^*=v_s)/dp^*=[1-F(v_s)-f(v_s)][v_s-v_s]>0$ 可知，p^* 超过 v_s 时是递增的。

[5] 在一般情况下的垄断边际收益等于边际成本，这可能在多个而不是一个产量处成立。$MR=MC$ 规则对利润最大化而言，仅仅是必要条件而非充分条件。

[6] 该问题的更多讨论基于 Cramton（未署时间），Klemperer（2004，p. 51）和 Wolfstetter（1999）。

第14章
定　价

14.1　产量作为策略：古诺均衡的再讨论

433　第 14 章将考察具有市场力量的企业如何制定价格。我们曾经在 3.5 节中介绍过企业选择销售数量的古诺博弈，14.1 节把古诺博弈模型推广到更一般化的情形。14.2 节扩展了伯特兰模型，它们在生产能力受限制的情况下选择价格。14.3 节详细地考察了产品的异质性，并发展了两个霍特林区位模型。14.4 节以伯特兰模型为例介绍了如何在博弈中进行比较静态分析，我们所用的分析工具是隐函数定理和超模性。14.5 节考虑另外一种异质性：垄断者或双头垄断者对“垂直”质量，即从好质量到差质量的选择。14.6 节以考察企业销售耐用品的问题作为本书的结束，因为购买者可以预见对他们实行的价格歧视会随着时间的流逝而降低价格。在这一点上，或许你特别想知道本书到明年还能价值几何！

成本函数和需求函数为一般形式时的古诺博弈

在下面的几节里，互相竞争的卖者同时采取行动。我们将把 3.5 节中古诺模型的线性需求函数和零生产成本推广到更一般的函数形式。假设两个参与人是 Apex 公司和 Brydox 公司，它们的策略是它们所选择的产量 q_a 和 q_b。它们的收益取决于总成本函数 $c(q_a)$ 和 $c(q_b)$，以及需求函数 $p(q)$，其中 $q=q_a+q_b$。这种需求函数意味着只有总产量才能影响价格。无论是 Apex 公司还是

Brydox 公司额外多生产了 1 单位的产品，这 1 单位产品对价格的影响都是一样的，因而两个公司的产品是完全同质的。

我们先从 Apex 公司开始。在古诺-纳什分析里，Apex 公司认为它的产量选择对 q_b 没有影响，因而在 q_b 给定时选择自己的产量 q_a。在 Apex 公司看来，q_a 是 q_b 的函数，但 q_b 是外生变量。Apex 公司认为它自己的产量变化对 434
价格的影响是

$$\frac{\partial p}{\partial q_a}=\left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}q}\right)\left(\frac{\partial p}{\partial q_a}\right)=\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}q} \tag{14.1}$$

Apex 公司的收益函数为

$$\pi_a = p(q)q_a - c(q_a) \tag{14.2}$$

为了推出 Apex 公司的反应函数，我们在上式中对产量求导数，得到

$$\frac{\mathrm{d}\pi_a}{\mathrm{d}q_a}=p+\left(\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}q}\right)q_a-\frac{\mathrm{d}c}{\mathrm{d}q_a}=0 \tag{14.3}$$

这表明

$$q_a=\frac{\mathrm{d}c/\mathrm{d}q_a-p}{\mathrm{d}p/\mathrm{d}q} \tag{14.4}$$

或者简化为

$$q_a=\frac{c'-p}{p'} \tag{14.5}$$

如果我们知道 $p(q)$ 和 $c(q_a)$ 的具体函数形式，就可以从（14.5）式解出 q_a，即把 q_a 表示成 q_b 的某个函数。更一般地，为了考察 Brydox 公司产量的外生变化对 Apex 公司的最优产量的影响，我们在（14.5）式中对 q_b 求导。注意：q_b 不仅对 $p(q_a+q_b)$ 有直接影响，还可能间接地影响 q_a。

$$\frac{\mathrm{d}q_a}{\mathrm{d}q_b}=\frac{(p-c')[p''+p''(\mathrm{d}q_a/\mathrm{d}q_b)]}{p'^2}+\frac{c''(\mathrm{d}q_a/\mathrm{d}q_b)-p'-p'(\mathrm{d}q_a/\mathrm{d}q_b)}{p'} \tag{14.6}$$

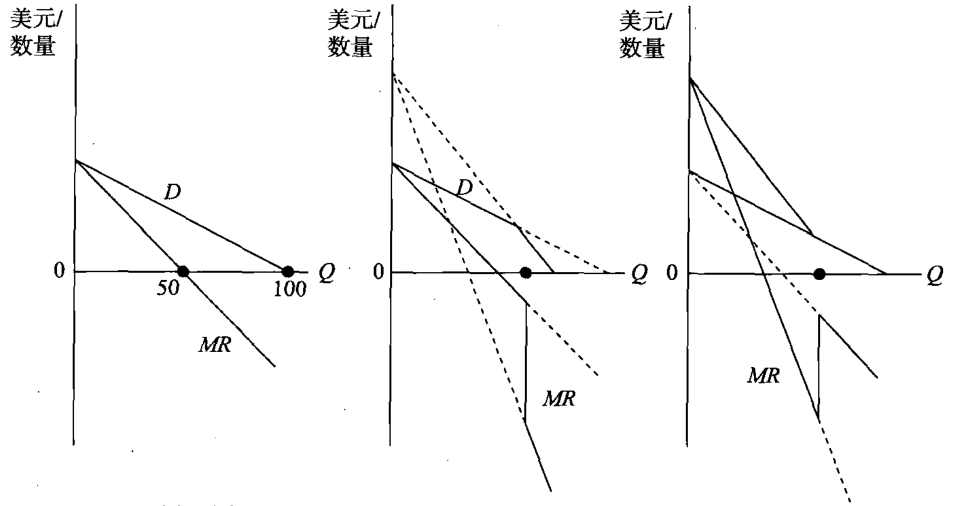
从（14.6）式中解出（$\mathrm{d}q_a/\mathrm{d}q_b$），即反应函数的斜率

$$\frac{\mathrm{d}q_a}{\mathrm{d}q_b}=\frac{(p-c')p''-p'^2}{2p'^2-c''p'-(p-c')p''} \tag{14.7}$$

如果成本函数和需求函数都像3.5节一样是线性的，那么$c''=0$和$p''=0$同时成立，则（14.7）式化为

$$\frac{\mathrm{d}q_a}{\mathrm{d}q_b}=-\frac{p'^2}{2p'^2}=-\frac{1}{2} \tag{14.8}$$

在现在的模型里，我们遇到了两个在线性模型里所没有的问题：博弈可能有多个均衡，也可能不存在均衡。如果需求函数是凹的，成本函数是凸的，即$p''<0$且$c''>0$，那么博弈肯定存在着均衡。因为价格高于边际成本$p>c'$，所以由（14.7）式可知：$[2p'^2-c''p'-(p-c')p'']$是正的，而$(p-c')p''$和$-p'^2$是负的，因而反应函数的斜率为负，向下倾斜。如图14—1（a）中由方
435 程（14.8）确定的线性模型所示，当反应函数的斜率为负且向下倾斜时，反应函数相交并且存在一个均衡点。因为规模报酬递减或不变，我们通常假设成本函数至少是弱凸的（weakly convex），但是我们很难断言需求函数是凸的（如图14—1（b）所示），还是凹的（如图14—1（c）所示）。如果需求函数不是线性的，那么（14.7）式中弯折的反应函数就会产生如图14—2所示的多个古诺均衡。



(a) 线性需求　　(b) 凹　　(c) 凸

图14—1　不同的需求曲线

如果需求函数是凸的，或者成本函数是凹的，即$p''>0$或$c''<0$，那么反应函数就可能是向上倾斜的，这时两条反应函数曲线可能根本就没有交点，因而也就不存在均衡。

436 我们也可以从Apex公司的收益函数，即（14.2）式中看出这一点。如果

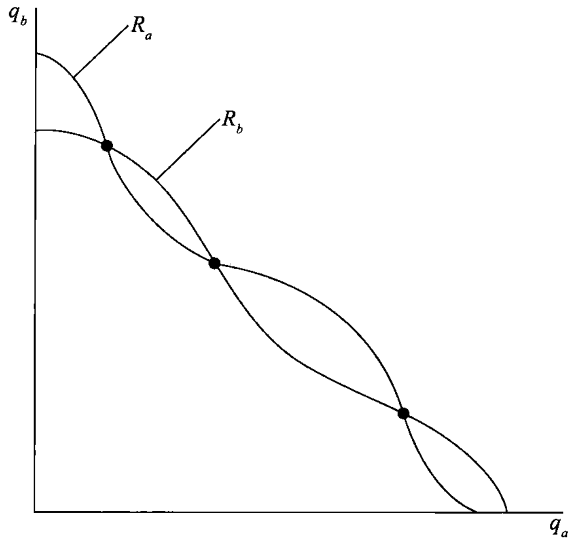


图 14—2　多重古诺-纳什均衡

$p(q)$ 是凸的，那么收益函数就有可能不是凹的，这时标准的最大化技术也就不再适用了。一般的古诺模型告诉建模者：像线性函数这样简单的假设往往能得到很有典型意义的结果。

存在多个寡头的市场

现在我们回到零生产成本和线性需求函数的简单情形。为了具体起见，我们使用如下反需求函数：

$$p(q) = 120 - q \tag{14.9}$$

由（14.9）式推出收益函数（14.2）的具体形式为

$$\pi_a = 120q_a - q_a^2 - q_b q_a \tag{14.10}$$

在 3.5 节里，当需求函数为（14.9）式时，企业选择的产量为 40，相应的价格也是 40。假设现在的企业数量不是两个，而是 n 个，那么现在的需求函数就是

$$p\left(\sum_{i=1}^{n} q_i\right) = 120 - \sum_{i=1}^{n} q_i \tag{14.11}$$

j 企业的收益函数为

$$\pi_j = 120q_j - q_j^2 - q_j \sum_{i \neq j} q_i \tag{14.12}$$

将（14.12）式两边对 q_j 求导，得到

$$\frac{d\pi_j}{dq_j} = 120 - 2q_j - \sum_{i \neq j} q_i = 0 \tag{14.13}$$

求解均衡的第一步是，先假设均衡是对称的，这样就有 $q_j = q_i$（$i = 1, 2, \cdots, n$）。因为每个参与人都面临着与（14.13）式相同的一阶条件，所以对称均衡是一个非常合理的假设。根据对称性，（14.13）式就化为 $120 - (n+1)q_j = 0$，因此，

$$q_j = \frac{120}{n+1} \tag{14.14}$$

我们可以把几个不同的值代入 n。如果 $n = 1$，那么 $q_j = 60$，这是垄断均衡；如果 $n = 2$，那么 $q_j = 40$，这就是 3.5 节的古诺均衡；如果 $n = 5$，那么 $q_j = 20$；随着 n 的上升，单个企业的产出逐渐降低至零。另外，随着 n 的上升，总产出 $nq_j = (n/(n+1))/120$，逐渐趋近于 120，即完全竞争时的产量水平，而市场价格逐渐降至零，即边际生产成本。随着企业数量的增多，单个企业的利润也下降了。

14.2 生产能力约束：艾奇沃斯悖论

437 在最后部分我们假定边际成本为常数零，我们在第 3 章第一次讨论古诺和伯特兰均衡时假定常数边际成本为 12。如果固定生产能力是渐近地或者突发地增加到无穷大时，将会发生什么情况呢？

在古诺模型中，厂商在产量上进行竞争，递增的边际成本或受限制的生产能力只是使方程变得复杂，但并不大幅度地改变模型的特征。正如所期望的那样，递增的边际成本降低了产出。如果一家厂商的生产能力低于正常的古诺产出，则该厂商只能生产它的生产能力的产量，而其他厂商将生产高于一般古诺产出的产量，所以它们的产出是策略替代的。

在伯特兰模型中，厂商按价格进行竞争，其情况如何并不是很直观。我们在本章的前半部分也应用到在第 3 章的博弈中出现的需求曲线 $p(q) = 120 - q$，并且厂商 Apex 公司和 Brydox 公司具有的常数边际成本是 $c = 12$。在均衡中，$p_a = p_b = 12$ 及 $q_a = q_b = 54$。如果 Apex 公司偏离到一个较高的价格，如 $p_a = 20$，它的产量将降低到零，因为所有的顾客都偏好低价格的

Brydox 公司的产品。

如果我们限定每家厂商出售的商品都不高于它们的生产能力 $K_a=K_b=70$，情况将会怎样？行业的生产能力为 140，仍超过了在价格 $p_a=p_b=12$ 时的需求 108。当然，如果 Apex 公司偏离到高价格 $p_a=20$，它仍然能够赢得顾客。所有 108 个顾客都想从 Brydox 公司购买，但是 Brydox 公司只能对他们提供 70 的数量，剩余的顾客只能很不情愿地接受 Apex 公司的产品。

当价格 $p_a=p_b=12$ 时，为了找到何种价格偏离可以使 Apex 公司获得更多的利润，我们需要知道 Apex 公司通过价格偏离所能得到的真正支付。这表明我们不仅需要知道被 Brydox 公司拒绝的 38(＝108－70) 个顾客，还需要知道他们是怎样的 38 个顾客。如果他们是在需求曲线上端的顾客，他们愿意支付的价格将接近 100；如果他们是需求低端的顾客，他们愿意支付的价格将稍微高于 12，这使得 Apex 公司的最优偏离有很大差别。

从而为了建立该博弈的支付函数，我们必须引进**配给规则**（rationing rule）的概念，配给规则告诉我们哪些顾客能够从开价较低的企业那里购买商品，哪些顾客则不得不从开价较高的企业那里购买商品。对于开价较低的企业来说，配给规则对其收益的影响很小；但是配给规则对开价较高的企业的收益有很大的影响。

一个可能的配给规则是

强度配给（intensity rationing，或有效配给、从高到低配给）：对商品评价最高的顾客从开价较低的企业处购买商品。

从（14.9）式推出的反需求函数为 $p=120-q$，当配给规则为需求强度配给时，需求最强烈、对商品评价最高的 K 个顾客从开价较低的企业那里购买商品。假设 Brydox 公司是开价最低的公司，要价为 $p_b=30$，所以有 90 位顾客希望从 Brydox 公司处购买商品，但只有 K 个顾客能够这样做。Apex公司收取较高的价格 p_a，Apex 公司面临的剩余需求为 0 或为

$$q_a=120-p_a-K，\text{如果 } p_a>120-K \tag{14.15}$$

图 14—3（a）画出了 Apex 公司的需求曲线。

在强度配给规则下，如果 $K=70$，Apex 公司的收益函数为（Brydox 公司的收益函数与之类似）： 438

$$q_a=\begin{cases}\mathrm{Min}\{120-p_a,70\}, & p_a<p_b \quad \text{(a)}\\ \dfrac{120-p_a}{2}, & p_a=p_b \quad \text{(b)}\\ \mathrm{Max}\{(120-p_a-70),0\}, & p_a>p_b,\ p_b<50 \quad \text{(c)}\\ 0, & p_a>p_b,\ p_b\geqslant 50 \quad \text{(d)}\end{cases} \tag{14.16}$$

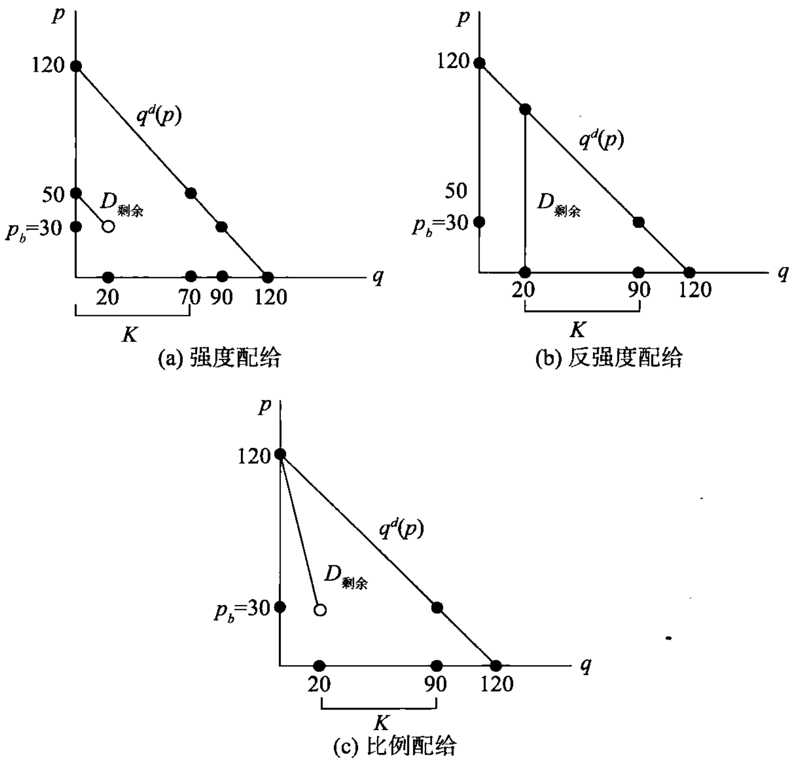


图 14—3　$p_b=30$、$p_a>30$ 以及 $K=70$ 时的配给规则

公式（14.16（a））成立是因为如果 Apex 公司收取较低的价格，所有购买产品的顾客将愿意从 Apex 公司购买。如果购买者是 70 或更少，则所有想在这个价格下购买产品的（120 − p_a）位顾客或 70 位顾客将都被满足。(14.16（b））式表明，如果两家厂商收取的价格相等，它们将平分市场。(14.16（c））式成立是因为如果 Brydox 公司的价格是最低的，并且低于 50，Brydox 公司将销售 70 单位产品，Apex 公司将面对与（14.15）式中一样的剩余需求曲线。如果 Brydox 公司的价格是最低的，并且高于 50，那么希望购买产品的顾客少于 70，所以 Brydox 公司能够全部满足他们，从而留给 Apex 公司的顾客为零，这就是（14.16（d））式。

配给规则是否合理取决于建模者的目的。如果需求更强烈的买者付出更多的努力以得到较低的价格，那么强度配给就是合理的。如果需求更强烈的买者拥有更多的财富，不愿意花时间排队等候的话，那么从开价较低的企业那里购买商品的顾客就是那些需求不强烈的顾客，这时就是图 14—3（b）中的**反强度配给**（inverse-intensity rationing，或从低到高配给）。此外，还有一
439 种介于强度配给和反强度配给之间的比例配给，此时各类顾客都有同样的机

会从开价较低的企业那里购买到商品。

比例配给（proportional rationing）：指每个顾客从开价较低的企业那里购买到商品的概率完全相等。

在配给规则为比例配给时，如果 $K=70$，有 90 个顾客希望能够从 Brydox 公司处购买到产品，那么每一类顾客中都有 2/9（$=(q(p_b)-K)/q(p_b)$）的人只能从 Apex 公司处购买产品。(例如，每一类顾客中都有 2/9 的人愿意支付 120 的价格。）如图 14—3（c）所示，Apex 公司面临的剩余需求曲线为（14.17）式，剩余需求曲线在纵轴（价格）上的截距为 120，但是，由于每一类顾客的人数都只有原来的 2/9，所以 Apex 公司的需求曲线的斜率的绝对值变得更大了。

$$q_a=(120-q_a)\left(\frac{120-p_b-K}{120-p_b}\right) \tag{14.17}$$

所以我们对配给规则将有三种选择，但是应用哪一种我们并不清楚。下面我们应用强度配给。在该规则下偏离到较高价格没有多大吸引力，因为低价格公司为自己保留了最好的顾客，所以如果我们发现在那里正常的伯特兰均衡被打破，我们知道均衡在其他配给规则下也会被打破。

具有生产能力约束的伯特兰博弈

参与人

厂商 Apex 公司和 Brydox 公司。

博弈顺序

Apex 公司和 Brydox 公司同时在 $[0,\infty)$ 上选择价格 p_a 和 p_b。

支付

常数边际成本是 $c=12$。需求是所有出售产品数量的函数，$Q(p)=120-p$。利用（14.16）式得到 Apex 公司的支付函数是（Brydox 公司的收益函数与之类似）

$$\pi_a=\begin{cases}(p_a-c)\mathrm{Min}\{120-p_a,\ 70\}, & p_a<p_b \quad \text{(a)}\\ (p_a-c)\dfrac{120-p_a}{2}, & p_a=p_b \quad \text{(b)}\\ (p_a-c)\mathrm{Max}\{(120-p_a-70),\ 0\}, & p_a>p_b,\ p_b<50 \quad \text{(c)}\\ 0, & p_a>p_b,\ p_b\geqslant 50 \quad \text{(d)}\end{cases} \tag{14.18}$$

生产能力约束对均衡结果有很大的影响：（$p_a=12$，$p_b=12$）不再是关于价格的纳什均衡了，即使 140 的行业生产能力远远超过了当价格等于边际成本 108 时的市场需求。在该策略组合下 Apex 公司的收益为零。如果 Apex 公司将价格提高到 $p_a=20$，Brydox 公司销售 $q_b=70$ 的产品，并且销售给具有最强需求的 70 个购买者。在需求曲线上位于 $p_a=20$ 与 $p_a=12$ 之间的购买者被留给 Apex 公司，从（14.18（c））式得到 Apex 公司的销售为 $q_a=30$，支付为 240。所以 Apex 公司可以从偏离中获得收益。（当然 $p_a=20$ 的偏离不是获得最大收益的必要条件，但是我们不需要检验这一点；任何可获得收益的偏离足以反驳以上提议的均衡。）

440 本 108 时的市场需求。

均衡价格必须低于 120，因为该价格在任何情况下都会得到零收益。在半开区间 [12，120）上有三种剩余的价格可供选择（现在我们已经排除了 $p_a=p_b=12$）。

1. 相等的价格 $p_a=p_b>12$ 不是一个均衡。即使以接近 12 的价格，Apex 公司至多只能销售 54 单位产品占领一半的市场，这低于它的生产能力 70。Apex公司通过将价格偏离到低于 p_b 的地方，就能够获得收益并且在销售中有一个非连续的跳跃，从而获得一个增长的利润，该结果与基本的伯特兰博弈中的结果恰好一样。

2. 一个等于 12、另一个不等于 12 的两个不等价格也不是一个均衡。为了不失一般性，假设 $p_a>p_b=12$。Apex 公司偏离该价格后将得不到收益，但是 Brydox 公司可以通过将价格偏离到 $p_b=p_a-\varepsilon$ 得到正的收益而不是零收益。

3. 两者都大于 12 的不相等的价格（p_a，p_b）也不是一个均衡。为了不失一般性，假设 $p_a>p_b>12$。按（14.18）式得到 Apex 公司的利润。如果 $\pi_a=0$，Apex 公司可通过将价格偏离到 $p_a=p_b-\varepsilon$ 获得利润。如果 $\pi_a=(p_a-c)(50-p_a)$，Apex 公司可通过将价格偏离到 $p_a=p_b-\varepsilon$ 获得利润。因为（14.18）式告诉我们 Apex 公司的收益无论在 $\pi_a=(p_a-c)\times 70$（如果 $p_b\geq 50$）还是 $\pi_a=(p_a-c)(120-p_a)$（如果 $p_b<50$）下都会提高。

此时，在任何一个强度配给规则下都没有纯策略的纳什均衡，同样在其他配给规则下也没有纯策略的纳什均衡。这一结论就是艾奇沃斯（Edgeworth，1897，1922）提出的**艾奇沃斯悖论**（Edgeworth paradox）。

现在我们知道解决任何悖论的办法是考虑混合策略，这里的情况也同样如此。应用强度配给及列维坦和舒比克（Levitan & Shubik，1972）应用过的线性需求来计算，的确能得到一个混合策略均衡。因为厂商收取的价格高于边际成本，所以期望利润是正的。在对称均衡中，厂商混合应用在支撑集 $[\underline{p}, \overline{p}]$ 上的分布函数 $F(p)$，其中 $\underline{p}>c$，$\overline{p}$ 是（14.15）式的剩余需求曲线的

垄断价格，在我们的例子中恰好是 $\overline{p}=36$。因为 $F(\overline{p})=1$，所以上界 $\overline{p}$ 是垄断价格，并且厂商选择该价格的确是最高价格，所以利用剩余需求曲线最大化它的利润。由（14.18（c））式可知，采用下限 $\underline{p}$ 得到的收益是（$\underline{p}-c$）×70，因为该收益必须等于在采用 $\overline{p}$ 时的收益 $336(=(p-c)q=(36-12)\times(50-36))$，我们可以得到 $\underline{p}=16.8$。混合分布函数 $F(p)$ 可以通过求解 $\pi(p)=336=F(p)(p-c)(50-p)+[1-F(p)](p-c)\times 70$ 得到。

如果生产能力足够高，高于在本例中的生产能力 $K=Q(c)=108$，则艾奇沃斯悖论将不存在。以上讨论表明，为什么相等的价格 c 不再是均衡是错误的，因为如果 Apex 公司偏离到正的价格，Brydox 公司可以应用全部生产能力占领整个市场，使得 Apex 公司没有顾客。

如果生产能力足够小，在我们的例子中低于 $K=36$，艾奇沃斯悖论也将不存在，同样伯特兰悖论也将不存在，每家厂商采用它们的全部生产能力的纯策略就是均衡，所以 $q_a=q_b=K$ 并且收取同样的价格。每家厂商不能再降低它的价格，因为即使这样做它也不能再销售更多数量的产品。偏离到较高的价格后，降低销售产品的数量结果又如何？它的最优价格偏离是应用剩余需求曲线（$120-K-p$）最大化利润。这将得到 $p^*=(120-K+c)/2$，在这种情况下， 441

$$q^* = \frac{(120-K-c)}{2} \tag{14.19}$$

但是如果

$$K < \frac{(120-c)}{3} \tag{14.20}$$

那么在（14.19）式中 $q^*>K$ 是可行的。利润最大化价格是应用全部的生产能力后得到的。在我们的例子中，从不等式（14.20）得到的生产水平是 $K=36$。对任何更低的生产能力，厂商只是将它们的全部生产能力能生产的产品销售到市场中去，并且价格为 $p_a=p_b=120-2K$，超过了边际成本。

14.3 区位模型

在第 3 章我们分析了异质产品的伯特兰模型，在模型中每个厂商的需求都同时受到两个厂商的价格的影响。但是这个模型的不足之处在于它不是建立在某个原始假设的基础之上。特别是需求函数可能不是从某个效用函数的最大化导出的。例如，需求曲线的弹性不可能是一个小于 1 的常数，否则随着商品价格趋近于零，购买这种商品的支出就会无穷大。此外需求函数的价

442

格要限制在一定的水平之下，如果能修正这些限制是最好不过的。

区位模型从类似于第 3 章的原始假设出发构建需求函数。在区位模型里，产品的异质性体现在空间位置的不同。在比较不同的汽车的时候，如果行驶里程数的差异是唯一的差别，那么我们所要考察的空间就是一条一维的直线。如果汽车的加速性也很重要，那么我们所要考察的空间就是一个二维的平面。为了简单起见，我们可以以产品的销售地点为例来介绍区位这个概念。“在维尔西尔街和威斯特伍德街的拐角处销售的汽油”和“在维尔西尔街和佛斯街的拐角处销售的汽油”是不同的。消费者会根据自己所在的位置对这两个加油站有不同的偏好，但是如果价格差异非常大，他们就会改变选择而去另外的加油站加油。

关于区位模型的文献有很多。下面我们介绍霍特林（Hotelling，1929）的经典性论文中最先分析过的两个模型：价格选择模型和区位选择模型。图 14—4 画出了两个模型的相同之处。两家厂商分别位于 x_a 和 x_b 两点，分布在从 0 到 1 的实线上，消费者具有常数密度函数。在霍特林价格博弈里，厂商在给定的位置上选择价格。在霍特林区位博弈里，价格是固定的，厂商在给定的价格水平上选择位置。

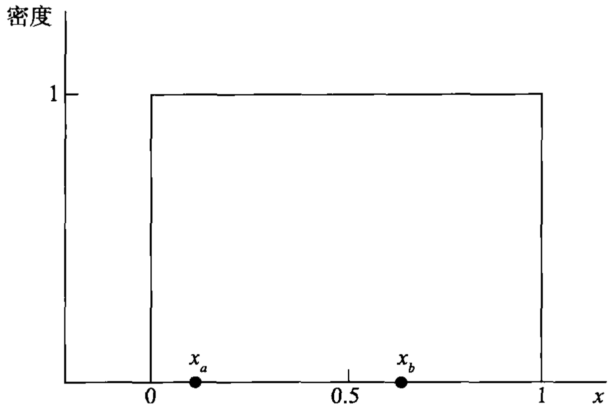


图 14—4 区位模型

霍特林价格博弈（Hotelling，1929）

参与人

销售商 Apex 公司和 Brydox 公司，两者分别位于 x_a 和 x_b，且 $x_a < x_b$。$x \in [0, 1]$，每个点代表一个消费者。

博弈顺序

（1）两个销售商同时选择价格 p_a 和 p_b。

（2）每个消费者选择各自的销售商。

支付

消费者均匀地分布在［0，1］区间内，密度函数等于 1（假设每个消费者只买 1 单位的产品）。生产成本为零。消费者的问题是使价格与运输成本之和最小。运输成本是运输距离的线性函数，每一单位运输距离的成本为 θ。

$$\pi_{x\text{处的买家}} = V - \text{Min}\{\theta |x_a - x| + p_a, \theta |x_b - x| + p_b\} \tag{14.21}$$

$$\pi_a = \begin{cases} p_a(0) = 0, & p_a - p_b > \theta(x_b - x_a) \quad \text{(a)} \\ & \text{(Brydox 占领整个市场)} \\ p_a(1) = p_a, & p_b - p_a > \theta(x_b - x_a) \quad \text{(b)} \\ & \text{(Apex 占领整个市场)} \\ p_a\left(\frac{1}{2\theta}[(p_b - p_a) + \theta(x_a + x_b)]\right), & \text{其他（市场被瓜分）} \quad \text{(c)} \end{cases} \tag{14.22}$$

Brydox 公司的收益函数与之类似。

上面的收益函数是由购买者的行为导致的。购买者的效用取决于他付出的价格和他与销售地点之间的距离。抛开价格因素的话，Apex 公司对 $x=0$ 处的顾客（我们称之为“顾客 0”）最有吸引力，对 $x=1$ 处的顾客（我们称之为“顾客 1”）最没有吸引力。顾客 0 总是从 Apex 公司购买，只要下面的条件满足 443

$$V - (\theta x_a + p_a) > V - (\theta x_b + p_b) \tag{14.23}$$

即

$$p_a - p_b < \theta(x_b - x_a) \tag{14.24}$$

这将得到 Brydox 公司的支付——（14.22（a））式，顾客 1 总是从 Brydox 公司购买，只要下面的条件满足

$$V - [\theta(1 - x_a) + p_a] < V - [\theta(1 - x_b) + p_b] \tag{14.25}$$

即

$$p_a - p_b > \theta(x_b - x_a) \tag{14.26}$$

这将得到 Apex 公司的支付——（14.22（b））式。

不等式（14.24）和（14.26）很可能同时成立，此时顾客 0 总是从 Apex

公司购买，而顾客 1 总是从 Brydox 公司购买，这就是收益函数（14.22（c））所代表的情况。接下来我们的任务是找到一个位于两个厂商市场边界的顾客 x^*。对顾客 x^* 来说，从 Apex 公司购买和从 Brydox 公司购买是无差异的。首先，对于所有位于 x_b 右边的顾客来说，如果 Apex 公司能够吸引顾客 x_b 到它这里来购买的话，那么 Apex 公司也能够吸引所有满足 $x>x_b$ 的顾客，因为他们与两个卖者之间的距离是同比例增加的。所以我们知道在 x_a 和 x_b 之间一定有一位无差异的顾客。了解到这一点，我们可以从购买者方程（14.21）得到：

$$V-[\theta(x^*-x_a)+p_a]<V-[\theta(x_b-x^*)+p_b] \tag{14.27}$$

因此，

$$p_a-p_b>\theta(2x^*-x_b-x_a) \tag{14.28}$$

和

$$q_a=x^*=\frac{1}{2\theta}[(p_b-p_a)+\theta(x_a+x_b)] \tag{14.29}$$

这就得到需求曲线（14.22（c））。

当然需要记住的是，等式（14.29）成立的条件是，的确存在一位无差异的购买者。如果这个购买者不存在，等式（14.29）也能得到 x^* 的一个数值，但该数值没有意义。

因为 Apex 公司能够吸引所有位于 0 和 x^* 的顾客，所以只要 Apex 公司的价格不比 Brydox 公司高很多，以至于连顾客 0 都去 Brydox 公司购买商品，那么等式（14.29）就是 Apex 公司面临的需求函数。Apex 公司面临的需求函数等于（$1-x^*$）。如果 $p_b=p_a$，由（14.29）式可得 $x^*=(x_a+x_b)/2$，正如
444 我们所预期的那样：x^* 的位置与运输成本 θ 无关。现在的需求曲线与两个厂商的价格都呈线性关系，在形式上和我们在 3.6 节中的异质伯特兰模型里使用的需求曲线很相像。

现在我们已经推导出了需求函数，所以就可以像在 14.2 节里那样求出纳什均衡：先写出两个厂商的利润函数，分别对各自的价格求导，最后解两个关于价格的一阶条件。只要两个厂商选择的价格满足（14.24）式和（14.26）式，我们就可以得到如下的纳什均衡：

$$p_a=\frac{(2+x_a+x_b)\theta}{3},\ p_b=\frac{(4-x_a-x_b)\theta}{3} \tag{14.30}$$

由（14.30）式可知：如果 x_a 越大，那么来 Apex 公司购买商品的顾客越多，Apex 公司的价格肯定就越高；如果 x_b 越大，Apex 公司能够和 Brydox 公司

争夺的顾客越多，Apex 公司的价格就越高。最简单的情形是 $x_a=0$ 和 $x_b=1$，这时由（14.30）式可得，两个厂商的价格都等于 θ，两个厂商的利润都大于 0，且随着运输成本的上升而上升。

我们不能仅仅停留在简洁的（14.30）式所表达的均衡上，因为这里均衡存在的前提是，假设厂商选择价格，以消费者 x^* 为界限来分割市场，但该假设经常不能被满足。霍特林本人没有注意到这一点，从而陷入了博弈论中经常遇到的一个陷阱。就各种经济学家所熟悉的模型而言，微积分方法通常能够找出既是局部最优又是全局最优的解。在上面的这个模型里，因为目标函数是不连续的，所以局部最优不一定是全局最优。维克瑞（Vickrey，1964）以及达·阿斯普蒙特、盖勃斯维茨和蒂斯（D'Aspremont，Gabszewicz & Thisse，1979）证明，基于与有能力限制的伯特兰模型中相同的理由，如果 x_a 和 x_b 靠得很近的话，纯策略的纳什均衡是不存在的。如果两个厂商的价格都不是随机的，那么两个厂商不会小幅度地降低价格，但是可能会有一个厂商大幅度降低价格以占领全部市场。如果两个厂商的价格都很低，那么每个厂商都想小幅度地提高价格。如果 Apex 公司和 Brydox 公司对称地分布在中点两侧，且 $x_a \geqslant 0.25$ 和 $x_b \leqslant 0.75$ 同时成立，就不存在纯策略的纳什均衡（但是达斯古普塔和马斯金（Dasgupta & Maskin，1986b）证明这时存在着混合策略均衡）。

霍特林应当做一些数字实例，并且他还应该细心地考察问题的比较静态。（14.30）式表明当 x_a 和 x_b 都增加时，Apex 公司可以选择一个高的价格，但比较奇怪的是，如果厂商的位置比较靠近，如在 0.9 和 0.91，Apex 公司可以提高价格而不是遭受更加激烈的竞争。这个奇怪的结果显然暗示该结果在某些方面存在缺陷。除非模型设计者能对该奇怪的结果给出直观的理由，否则就可怀疑有错误。我们以几个数字实例作为练习，并将它们表示在图 14—5 中。

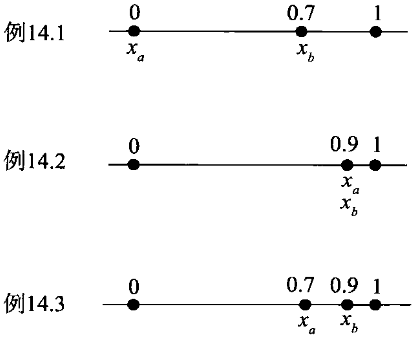


图 14—5　霍特林定价的数字实例

例 14.1 简单情形

令 $x_a=0$，$x_b=0.7$ 以及 $\theta=0.5$。则（14.30）式表明 $p_a=(2+0+0.7)\times 0.5/3=0.45$ 以及 $p_b=(4-0-0.7)\times 0.5/3=0.55$。

（14.29）式表明 $x^*=1/(2\times 0.5)[(0.55-0.45)+0.5\times(0+0.7)]=0.45$。

例 14.1 中有一个纯策略均衡，并且方程在我们选定参数的基础上得到的数字也是合理的。但是仅靠计算一个数字实例是远远不够的。

例 14.2 相同的位置——但是不同的价格?

445 令 $x_a=0.9$，$x_b=0.9$ 以及 $\theta=0.5$。则（14.30）式表明 $p_a=(2+0.9+0.9)\times 0.5/3\approx 0.63$ 以及 $p_b=(4.0-0.9-0.9)\times 0.5/3\approx 0.37$。

例 14.2 表明奇怪的事情发生了。等式得到的结果看上去没有什么不妥，除非意识到如果两个公司都在 0.9 处选址，$p_a=0.63$ 以及 $p_b=0.37$，那么 Brydox 公司将获得整个市场！该结果毫无道理。因为等式（14.30）的结果所依赖的假设条件 $x_a<x_b$ 在本例中是错误的。

例 14.3 相互之间位置靠得太近

$x^*<x_a<x_b$，令 $x_a=0.7$，$x_b=0.9$ 以及 $\theta=0.5$。则（14.30）式表明 $p_a=(2.0+0.7+0.9)\times 0.5/3=0.6$ 以及 $p_b=(4.0-0.7-0.9)\times 0.5/3=0.4$。对于分割市场的情形，（14.29）式表明 $x^*=1/(2\times 0.5)[(0.4-0.6)+0.5\times(0.7+0.9)]=0.6$。

例 14.3 表明了一个严重的问题，如果市场在 $x^*=0.6$ 处进行分割，但是 $x_a=0.7$，且该结果违背了参与者分割市场的暗含假定。（14.29）式是基于存在一些无差异的消费者得到的，在例 14.3 中设定的参数下，这是一个错误的前提，（14.29）式仍然在 x^* 数值处分割市场，但是该数值没有任何意义。事实上，在 $x^*=0.6$ 处的消费者对 Apex 公司与 Brydox 公司的产品不是无差异的。他从 Apex 公司按总成本 $0.6+0.1\times 0.5=0.65$ 购买产品或者从 Brydox 公司按总成本 $0.4+0.3\times 0.5=0.55$ 购买产品。这里不存在消费者严格偏好 Apex 公司。即使在 $x=0.7$ 处的 Apex 公司本地的消费者也会从 Brydox 公司购买产品，总成本是 $0.4+0.5\times(0.9-0.7)=0.5$，他们将偏好 Brydox 公司的产品。同样地，在 $x=0$ 处的顾客从 Brydox 公司购买产品的总成本是 $0.4+0.5\times(0.9-0.0)=0.85$，与从 Apex 公司购买产品的成本 $0.6+0.5\times(0.7-0.0)=0.95$ 相比较，他还是偏好 Brydox 公司的产品。

在例 14.2 和例 14.3 中的问题是，具有高价格的厂商通过价格偏离，非连续地削减价格，使价格低于另外一个厂商可以使自己的境况更好。通过计算得到（13.30）式时，一个暗含的假设是，求解该问题得到的局部利润最大化也是全局利润最大化，或者换一种说法，如果没有小的变化能够增加厂商的收益，那么他就得到了最优策略。即使一个较小的变化不能够增加他的收益，但有时一个较大的变化却能够增加一个参与者的收益。或许这意味着在商业中“非线性思维”或者“跳出圈外思考”是重要的。如熊彼特（Schumpeter，1934）和库恩（Kuhn，1970）所描述的经理或科学家们每天集中在一起分析增量变化，只有企业家或天才用非连续的新思想、利润来源或者范式转换才能解决。 446

下面我们转到区位的选择问题。为了简单起见，我们忽略消费者的因素，模型中只有价格这一个外生变量。

霍特林区位博弈（Hotelling，1929）

参与人

n 个参与人。

博弈顺序

参与人同时选择区位 $x_i \in [0, 1]$。

支付

消费者均匀地分布在 [0，1] 区间内，密度函数等于 1。价格为 1，生产成本为 0。销售者根据自己所在的位置的排序为 $x_1 \leqslant x_2 \leqslant \cdots \leqslant x_n$，$x_0 \equiv 0$ 且 $x_{n+1} \equiv 1$。销售者 i 从自己两边的距离上各吸引一半的顾客，如图 14—6 所示，因此销售者的收益为

$$\pi_1 = x_1 + \frac{x_2 - x_1}{2} \tag{14.31}$$

$$\pi_n = \frac{x_n - x_{n-1}}{2} + 1 - x_n \tag{14.32}$$

或者，对于 $i = 2, \cdots, n-1$

$$\pi_i = \frac{x_i - x_{i-1}}{2} + \frac{x_{i+1} - x_i}{2} \tag{14.33}$$

在只有一个销售者的情况下，所有的顾客都只能向这个销售者购买商品，因此这个销售者选择什么区位是不重要的。如果价格是选择变量，且需求是

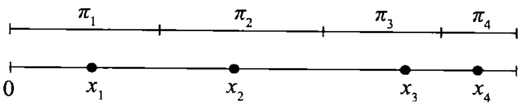


图 14—6　霍特林区位博弈支付

有弹性的，我们可以预期垄断者会选择 $x=0.5$ 的位置。

在有两个销售者的情况下，无论需求是否有弹性，两个销售者都会选择 $x=0.5$的位置。只要看一下图 14—7，再想一想一个销售者对另外一个销售者所在位置的最优反应，读者就会发现两个销售者都会选择 $x=0.5$ 的位置是一个稳定的纳什均衡。一个销售者对另外一个销售者所在位置的最优反应
447 是，总是使自己与中点之间的距离比竞争者与中点之间的距离少 ε。因为两个销售者都这样做，所以最后两个销售者会都位于中点，并各自占领一部分市场。

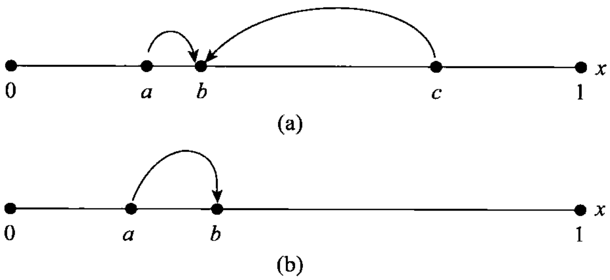


图 14—7　三个参与人的纯策略不存在

在有三个销售者的情况下，这个模型没有纯策略的纳什均衡。考虑每个参与人占据不同位置的策略组合。该策略组合不是一个均衡，因为位于两端的销售者会向中点靠拢以挤占中间销售者的市场份额。如果有两个参与人位于同一点 a 的话，第三个参与人会使自己离开这两个参与人一段距离到 b 点，这样第三个参与人至少能得到 $0.5-\varepsilon$ 的市场份额。但如果第三个参与人占领的市场份额最大的话，位于同一点的两个参与人中就会有一个参与人移动到第三个参与人另外一端的位置上，以抢占第三个参与人的大部分市场份额。所以，这里唯一的均衡是混合策略均衡。

假设所有的三个参与人采用相同的混合密度函数，如图 14—8 所示，在位置 x 处的概率密度函数为 $m(x)$，并且在支撑集 $[g, h]$ 上密度函数是正的。我们需要参与人 2 和 3 的位置最小时的概率分布的密度函数，位于 x 的参与人 2 具有密度函数 $m(x)$，令 M 表示累积分布，则参与人 3 的位置大于 x

的概率为 $1-M(x)$。所以，参与人 2 位于 x 并且是较小位置的密度函数为 $m(x)[1-M(x)]$。无论是参与人 2 还是参与人 3 选择位置 x，它比其他厂商的位置小的密度函数是 $2m(x)[1-M(x)]$。

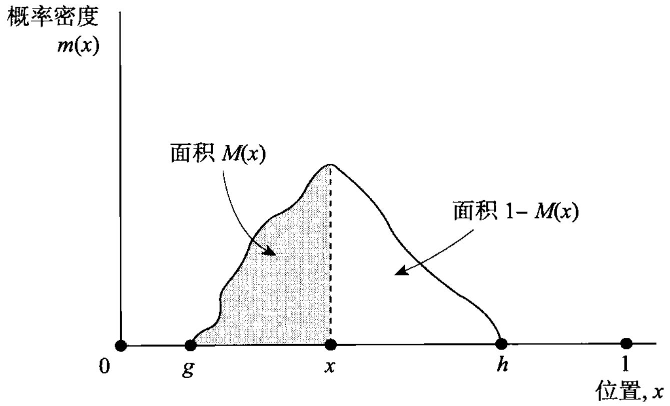


图 14—8　在三个参与人区位博弈中的具有混合策略密度函数的均衡

如果参与人 1 选择 $x=g$，那么他的期望收益是 448

$$\pi_1(x_1=g)=g+\int_g^h 2m(x)[1-M(x)]\left(\frac{x-g}{2}\right)\mathrm{d}x \tag{14.34}$$

式中，g 为参与人 1 左侧的顾客集合；当 x 是第二大位置时，厂商的密度函数为 $2m(x)[1-M(x)]$；$\left(\frac{x-g}{2}\right)$为参与人 1 在他自己的位置 g 和第二大位置之间的顾客份额。

如果参与人 1 选择 $x=h$，那么，他的期望收益是

$$\pi_1(x_1=h)=(1-h)+\int_g^h 2m(x)M(x)\left(\frac{h-x}{2}\right)\mathrm{d}x \tag{14.35}$$

式中，$(1-h)$ 为他右侧的顾客集合。

在一个混合策略均衡中，参与人 1 从这两个纯策略中得到的收益必须相等，并且它们也必须等于在位置 0.5 处得到的收益，我们可以理所当然地猜想点 0.5 是在他的混合分布的支撑集中。如果从这里开始，代数计算变得非常复杂。谢克德（Shaked，1982）计算过如图 14—9 所示的对称混合概率密度函数 $m(x)$。

$$m(x)=\begin{cases}2, & 1/4\leqslant x\leqslant 3/4\\ 0, & \text{其他}\end{cases} \tag{14.36}$$

你可应用（14.36）式中的混合密度函数（如图 14—9 所示）、（14.34）式和（14.35）式中的确相等的收益以检查这个均衡。该方法只说明了对称均衡的情况如何；当然可以证明非对称均衡也存在（Osborne & Pitchik，1986）。

奇怪的是，3 是一个很特别的数字。如果有三个以上的销售者，并且顾客服从正态分布，模型就有纯策略的均衡，但这是一个脆弱的结果（Eaton & Lipsey，1975）。达斯古普塔和马斯金（Dasgupta & Maskin，1986b）（经西蒙（Simon，1987）修正后）证明：在任意的 n 个参与人和 m 维空间的霍特林区位博弈里都存在着一个均衡，但有可能是混合策略均衡。

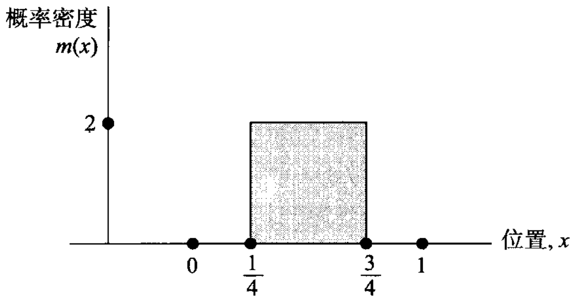


图 14—9　区位混合密度均衡

因为价格不能灵活调整，所以竞争市场的结果是缺乏效率的。如果一个仁慈的社会计划者或一个垄断者能够使自己和消费者靠得更近一些，并索要
449 一个较高的价格的话，它们选择的区位将不同于市场竞争下的厂商所选择的区位。特别是，当两个互相竞争的厂商都选择中点时，消费者的福利并不比只有一个销售者时更好。如图 14—10 所示，社会计划者或者垄断者会使两个厂商分别位于 $x_1=0.25$ 和 $x_2=0.75$ 的位置，这时消费者和销售者之间的平均距离最小。

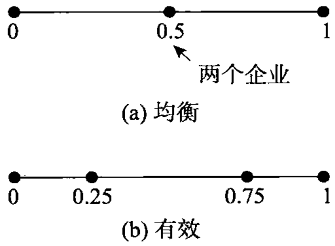


图 14—10　区位中的均衡与效率

霍特林区位模型非常适合应用于政治中。在政治竞选中，经常只有一个因素非常重要——选民们将把他们的选票投给与自己的观点非常相近的竞选人，所以这里没有价格的类似物。霍特林区位模型表明两个竞选者选择相同的位置，即正好位于中间投票人的位置。这也是对现实的真实描述：它符合通常的抱怨——所有的政治家都非常相同。

14.4 比较静态分析和超模博弈

比较静态分析考察的是模型中的外生变量的变化对内生变量所产生的影响，是经济学研究的一个中心内容。例如，当工资上升时，我们希望知道钢铁的价格将随之变化多少。博弈论给比较静态分析提出了一个很特殊的问题。当博弈模型中的某个参数发生变化时，不仅史密斯的均衡策略会随之改变，琼斯的策略也会因为史密斯的策略的变化而改变。因为不同参与人的策略之间存在着反馈作用，所以某个参数的小变化可能会导致均衡的很大改变。

我们以异质产品的伯特兰模型为例，假设有 N 个厂商，厂商 j 的需求曲线为

$$Q_j = \text{Max}\left\{\alpha - \beta_j p_j + \sum_{i \neq j} \gamma_i p_i, 0\right\} \tag{14.37}$$

其中，$\alpha \in (0, \infty)$，$\beta_i \in (0, \infty)$ 以及 $\gamma_i \in (0, \infty)$；$i=1, 2, \cdots, N$。假设厂商 j 的价格 p_j 对其销售量的影响超过其他厂商的价格的影响，则

$$\beta_j > \sum_{i \neq j} \gamma_i \tag{14.38}$$

令厂商 i 的不变边际成本为 κc_i，其中 $\kappa \in \{1, 2\}$，$c_i \in (0, \infty)$，我们还 450
假设每个厂商的成本足够低，在均衡状态下厂商仍能运营。（变量 κ 的变化代表政治体制对成本的影响。）

则厂商 j 的收益函数为

$$\pi_j = (p_j - \kappa c_j)\left(\alpha - \beta_j p_j + \sum_{i \neq j} \gamma_i p_i\right) \tag{14.39}$$

所有的厂商同时选择价格。

这个博弈是否有均衡呢？它是否有多重均衡？如果参数 c_j 或 κ 改变的话，均衡价格会有什么变化？c_j 的上升会直接影响厂商 j 的价格，但是其他厂商也会对厂商的价格变化作出反应，而这又会反过来影响厂商 j 的价格，所以，前面的这些问题都是很难回答的。而且，这个博弈不是对称的，各个厂商的成本函数和需求函数都是不一样的，这会使纳什均衡的代数解很复杂。我们

甚至不能确定均衡是否为唯一的。

在这里，我们可以使用比较静态分析的两种方法：隐函数定理和超模性。下面我们就分别介绍这两种方法。

隐函数定理

隐函数定理指的是如果 $f(y, z)=0$，其中 y 是内生的，z 是外生的，则

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}z}=-\left(\frac{\partial f/\partial z}{\partial f/\partial y}\right) \tag{14.40}$$

了解推导过程是有益的。我们从 $f(y, z)=0$ 开始，因为 y 是内生的，所以它可以重新写成 $f(y(z), z)=0$，应用导数链式法则可得

$$\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}z}=\frac{\partial f}{\partial z}+\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)\left(\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}z}\right)=0 \tag{14.41}$$

表达式等于零是因为经过 z 的一个小的变化，在 y 调整后 f 的值仍等于零。求解 $\mathrm{d}y/\mathrm{d}z$ 就得到（14.40）式。

所以，如果 y 是选择变量而 z 是参数的话，隐函数定理是非常有用的，因为我们可以利用一阶条件使 $f(y, z)\equiv\partial\pi/\partial y=0$，二阶条件表明 $\partial f/\partial y=\partial^2\pi/\partial^2 y\leqslant 0$。但必须确定这时的解应该是内部解，所以一阶条件和二阶条件是成立的，并且记住如果解是局部最优解而非全局最优解，当外生变量变化时，最优选择会向上或向下“跳跃”。

如果模型是策略式的：内生变量的数量大于一个，因为有多于一个参与人选择变量的数值。假设不再是简单的 $f(y, z)=0$，我们的隐函数具有两个内生变量和两个外生变量，所以 $f(y_1, y_2, z_1, z_2)=0$。另外增加的 z_2 不成问题；在比较静态分析中，除了一个外生变量不变外，其他均成立。但是 y_2
451 的确增加了一些复杂性。现在应用积分链式法则不再得到（14.41）式，而是得到

$$\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}z_1}=\frac{\partial f}{\partial z_1}+\left(\frac{\partial f}{\partial y_1}\right)\left(\frac{\mathrm{d}y_1}{\mathrm{d}z_1}\right)+\left(\frac{\partial f}{\partial y_2}\right)\left(\frac{\mathrm{d}y_2}{\mathrm{d}z_1}\right)=0 \tag{14.42}$$

求解 $\mathrm{d}y_1/\mathrm{d}z_1$，得到

$$\frac{\mathrm{d}y_1}{\mathrm{d}z_1}=-\left(\frac{\partial f/\partial z_1+(\partial f/\partial y_2)(\mathrm{d}y_2/\mathrm{d}z_1)}{\partial f/\partial y_1}\right) \tag{14.43}$$

通过求解$\frac{\mathrm{d}y_1}{\mathrm{d}z_1}$，使它作为两个外生变量 z_1 和 z_2 及内生变量 y_2 的函数，结

果通常令人不满意（如果你的目的仅仅是考察变化是正的还是负的，该结果还是很好的），但是通常建模者还需要获得参与人 2 的最优情况：$g(y_1, y_2, z_1, z_2)=0$。这第二个条件得到类似于（14.43）式的方程，所以通过这两个方程可以求解得到两个未知数。

你可以应用异质伯特兰博弈去检验上述结论。对某个较大的数 $\overline{p}$，均衡价格将位于区间（c_j，$\overline{p}$）内，因为一个 c_j 的价格得到零收益，而一个稍微高一点的价格得到正收益，通过令需求数量为零，从而收益也是零，可以得到 $\overline{p}$ 的选择。从而均衡是内部解，在这种情况下满足如下一阶条件：

$$\frac{\partial \pi_j}{\partial p_j}=\alpha-2\beta_j p_j+\sum_{i\neq j}\gamma_i p_i+\kappa c_j\beta_j \tag{14.44}$$

以及二阶条件

$$\frac{\partial^2 \pi_j}{\partial p_j^2}=-2\beta_j<0 \tag{14.45}$$

接下来通过应用 p_i 和 $c_i(i=1, \cdots, N)$ 而不是 y_i 和 $z_i(i=1, 2)$ 得到隐函数定理，并且通过令（14.44）式中 $\partial\pi_j/\partial p_j=0$ 作为我们的 $f(y_1, y_2, z_1, z_2)=0$。由链式法则得到

$$\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}c_j}=-2\beta_j\left(\frac{\mathrm{d}p_j}{\mathrm{d}c_j}\right)+\sum_{i\neq j}\gamma_i\left(\frac{\mathrm{d}p_i}{\mathrm{d}c_j}\right)+\kappa\beta_j \tag{14.46}$$

所以

$$\frac{\mathrm{d}p_j}{\mathrm{d}c_j}=\frac{\sum_{i\neq j}\gamma_i(\mathrm{d}p_i/\mathrm{d}c_j)+\kappa\beta_j}{2\beta_j} \tag{14.47}$$

只是什么是 $\mathrm{d}p_j/\mathrm{d}c_j$？对每个 i，我们需要找到厂商 i 的一阶条件，并且再次应用链式法则。参与人 i 的一阶条件是，π_i 对 p_i（不是 p_j）求导数后等于零，所以

$$g^i\equiv\frac{\partial \pi_i}{\partial p_i}=\alpha-2\beta_i p_i+\sum_{k\neq i}\gamma_k p_k+\kappa c_i\beta_i \tag{14.48}$$

由链式法则得到（记住我们感兴趣的是 c_j 的变化而不是 c_i 的变化） 452

$$\frac{\mathrm{d}g^i}{\mathrm{d}c_j}=-2\beta_i\left(\frac{\mathrm{d}p_i}{\mathrm{d}c_j}\right)+\sum_{k\neq i}\gamma_k\left(\frac{\mathrm{d}p_k}{\mathrm{d}c_j}\right)=0 \tag{14.49}$$

由（14.47）式与（14.49）式中的（$N-1$）个方程，我们得到 N 个未知数 $\mathrm{d}p_i/\mathrm{d}c_j(i=1, \cdots, N)$ 的 N 个方程。

如果只有两个厂商 j 和 i，解决起来非常简单。（14.47）式和（14.49）式变为

$$\frac{\mathrm{d}p_j}{\mathrm{d}c_j}=\frac{\gamma_i(\mathrm{d}p_i/\mathrm{d}c_j)+\kappa\beta_j}{2\beta_j} \tag{14.50}$$

及

$$-2\beta_j\left(\frac{\mathrm{d}p_i}{\mathrm{d}c_j}\right)+\gamma_j\left(\frac{\mathrm{d}p_j}{\mathrm{d}c_j}\right)=0 \tag{14.51}$$

求解这两个方程得到 $\mathrm{d}p_i/\mathrm{d}c_j$ 和 $\mathrm{d}p_j/\mathrm{d}c_j$ 分别为

$$\frac{\mathrm{d}p_j}{\mathrm{d}c_j}=\frac{2\beta_i\beta_j\kappa}{4\beta_i\beta_j-\gamma_i\beta_j} \tag{14.52}$$

和

$$\frac{\mathrm{d}p_i}{\mathrm{d}c_j}=\frac{\gamma_j\beta_j\kappa}{4\beta_i\beta_j-\gamma_i\gamma_j} \tag{14.53}$$

我们要注意隐函数定理只适用参数的无穷小的变化而非有限的变化。如果 c_n 的上升幅度非常大，这时均衡的性质会有非常剧烈的变化，因为厂商 n 就不得不停产歇业。即使 c_n 上升一个有限的数量，隐函数定理也不适用，因为 p_n 的变化引起了其他厂商价格的变化，而其他厂商价格的变化又引起了 p_n 的再次变化。

我们不能继续考察 κ 的变化对 p_n 的影响，因为 κ 是一个非连续变量，隐函数定理只能应用于连续变量。上面只是一个很简单的例子，隐函数定理是一个非常有用的分析工具，即使在函数形式非常复杂的时候，我们也能利用隐函数定理进行分析。在非常复杂的情况中，如果二阶条件成立，并且建模者感兴趣的是这两个变量之间的符号关系，他就可以避开判断分母的符号。

超模性

第二种进行比较静态分析的方法是超模博弈，这种方法与博弈的互补性策略有关（见 3.6 节）。假设博弈有 N 个参与人，下标为 i 和 j，参与人 i 的策略中含有 $\bar{s}^i$ 个元素，下标为 s 和 t，因此他的策略为向量 $y^i=(y_1^i,\cdots,$
453 $y_{\bar{s}^i}^i)$，策略集合为 S^i，支付函数为 $\pi^i(y^i,y^{-i},z)$，其中，z 为一个固定的参数。如果一个博弈对所有参与者 $i=1,2,\cdots,N$ 满足下面四个条件，我们就称这个博弈为**平滑的超模博弈**（smooth supermodular game）。

（A1′）策略集合是 $R^{\bar{s}^i}$ 中的一个区间：

$$S^i = [\underline{y^i}, \overline{y^i}] \tag{14.54}$$

（A2′）π^i 在 S^i 上是二阶连续可微函数。

（A3′）（**超模性**）参与人 i 的策略中某一项的上升不会降低其他各项的净边际收益，即对于所有的 i 和所有满足 $1 \leqslant s < t \leqslant \bar{s}^i$ 的 s 和 t，都有

$$\frac{\partial^2 \pi^i}{\partial y_s^i \partial y_t^i} \geqslant 0 \tag{14.55}$$

（A4′）（**策略的递增可微**）参与人 j 的策略中某一项的上升不会降低参与人 i 的策略中任何一项的净边际收益，即对于所有的 $j \neq i$ 及所有满足 $1 \leqslant s \leqslant \bar{s}^i$ 和 $1 \leqslant t \leqslant \bar{s}^i$ 的 s 和 t，都有

$$\frac{\partial^2 \pi^i}{\partial y_s^i \partial y_t^j} \geqslant 0 \tag{14.56}$$

此外，如果博弈满足第五个条件，即参数递增可微条件（A5′）的话，我们就可以对平滑的超模博弈进行比较静态分析。

（A5′）（**参数递增可微**）参数 z 的上升不会降低参与人 i 的策略中任何一项的边际收益，即对于所有的 i 和所有满足 $1 \leqslant s \leqslant \bar{s}^i$ 的 s，都有

$$\frac{\partial^2 \pi^i}{\partial y_s^i \partial z} \geqslant 0 \tag{14.57}$$

超模性的核心内容是假设（A3′）和（A4′）。假设（A3′）说的是参与人 i 的策略中的各项都是**互补性投入**（complementary inputs）。如果策略中的某一项增加了，那么提高其他各项的投入也是值得的。这意味着即使策略本身非常复杂，因为最优策略的各项元素是同方向变动的，我们仍可以对策略的变化作出定性的结论。假设（A4′）说的是参与人 i 和参与人 j 的策略是**策略互补**（strategic complements）的。如果参与人 i 的策略中的某一项提高了，那么参与人 j 也会相应地提高其策略中的那一项。当参与人的策略以这样的方式互相加强时，策略的互动过程比他们相互削弱时要稳定一些。

需要强调的是，上面的假设是针对超模博弈的特殊情形——平滑博弈而言的，它的一般定义参见数学附录中的超模博弈部分。平滑博弈的函数都是可微的，而超模定理的应用范围更广泛。与此有关的一个条件是下面的（A5）：

（A5）（**参数递增可微**）π^i 在固定 y^{-i} 后对 y^i 和 z 是递增可微的，对所有 *454*
的 $y^i \geqslant y^{i'}$，$\pi^i(y^i, y^{-i}, z) - \pi^i(y^{i'}, y^{-i}, z)$ 的差对 z 是非减的。

异质产品的伯特兰博弈是不是一个超模博弈呢？因为参与人 i 的策略集被限制在 $[c_i, \bar{p}]$ 区间内，所以假设（A1′）是满足的。因为 π^i 在 $[c_i, \bar{p}]$ 区间内是二次可微的，（A2′）是满足的。参与人的策略里只有一项 p_i，所以假设（A3′）是满足的。因为下面的不等式成立，

$$\frac{\partial^2 \pi^i}{\partial p_i \partial y_j} = \gamma_j > 0 \tag{14.58}$$

所以（A4′）是满足的。同样，因为下面的不等式成立，

$$\frac{\partial^2 \pi^i}{\partial p_i \partial c_i} = \kappa\beta_i > 0 \tag{14.59}$$

所以（A5′）对于 c_i 是满足的。由（14.44）式可知，$\partial\pi_i/\partial p_i$ 对 κ 是递增的，因而当 $p_i > p'_i$ 时，$\pi_i(p_i, p_{-i}, \kappa) - \pi_i(p'_i, p_{-i}, \kappa)$ 对 κ 不减，所以（A5）对 κ 是满足的。

因为所有的假设都是满足的，所以异质产品的伯特兰博弈是一个超模博弈，此时，若干相关定理成立，包括下面的两个定理。

定理 14.1 如果博弈是一个超模博弈，那么这个博弈分别存在一个最大和最小的纯策略纳什均衡。

定理 14.2 如果博弈是一个超模博弈，且满足假设（A5）或（A5′），那么最大和最小的纯策略纳什均衡分别是参数 z 的不减函数。

把定理 14.1 和定理 14.2 应用于异质产品的伯特兰博弈，我们就得到以下结论：

1. 异质产品的伯特兰博弈存在一个最大和最小的纯策略纳什均衡（定理 14.1）。

2. 厂商 i 的最大和最小的均衡价格是成本参数 c_i 和 κ 的不减函数（定理14.2）。

与隐含数定理不同，此处超模性也能对 κ 进行比较静态分析。但是就 c_i 而言，超模性只能判定均衡价格 p^* 是 c_i 的不减函数，却不能得出它的值是不是递增的。

关于超模性的更多内容，参见米尔格罗姆和罗伯茨（Milgrom & Roberts，1995），弗登伯格和梯若尔（Fudenberg & Tirole，1991，pp. 489 - 497）以及维韦斯（Vives，2000）的综述。

*14.5 垂直差异化

在本章的前半部分我们考察了产品差异化，但是对差异化的测度不是从"好"和"坏"来衡量的，而是沿着在一条实线上的位置，依个人偏好和仁者
455 见仁、智者见智来衡量。另一种形式的产品差异化是从"好"和"坏"的角度来分析的，如谢克德和萨顿（Shaked & Sutton，1983）以及梯若尔（Tirole，1988）书中的相关内容。这里我们将考察一个简单的博弈，其中只有两

种类型的购买者和两种质量水平，但是我们将对多种情形下的垄断和双头垄断加以比较。

垂直差异化Ⅰ：一种产品的垄断

参与人

一个销售方和一个具有连续统的购买者。

博弈顺序

（0）自然对长度为1的连续购买者分配质量数值。他们一半是“弱”购买者（$\theta=0$），“弱”购买者对高质量的估计为20，对低质量的估计为10；一半是“强”购买者（$\theta=1$），“强”购买者对高质量的估计是50，对低质量的估计是15。

（1）销售方选择要么是0（低）要么是1（高）的质量。

（2）销售方从区间$[0,\infty)$上选择价格p。

（3）每个购买者选择购买1单位产品或者不购买产品。销售方在常数边际成本$c=1$处生产产品，边际成本不随着产量的变化而变化。

支付

销售方的收益是

$$\pi_{\text{销售方}}=(p-1)q \tag{14.60}$$

购买者如果不购买，他的收益是零；如果购买，则收益是

$$\pi_{\text{购买者}}=(10+5\theta)+(10+25\theta)s-p \tag{14.61}$$

（14.61）式表明，基本价值（$10+5\theta$）加上每单位质量（$10+25\theta$）要超过该收益。

销售方必须生产高质量产品，因为这样它才能向购买者收取更高的价格（当然注意到这与通常的错误印象正好相反，通常认为一个垄断者与在竞争市场条件下相比，它提供产品的质量要低）。价格要么是50，这是最强的购买者愿意支付的价格；要么是20，这是最弱的购买者要支付的价格。因为$\pi(50)=0.5\times(50-1)=24.5$及$\pi(20)=0.5\times(20-1)+0.5\times(20-1)=19$，销售方将选择$p=50$。对销售方而言，分开定价（包括只有强购买者购买产品的情况）比混合定价要更好。注意到收益满足单交叉性。

下面我们允许销售方选择两种质量水平。一个社会计划者将只选择一种质量水平，即最高质量$s=$高，因为生产低质量产品并不便宜。垄断销售方或许会

选取两种质量水平，当然这是因为这两种质量水平能帮助它实行价格歧视。

垂直差异化Ⅱ：两种产品的垄断

456 **参与人**

一个销售方和一个具有连续统的购买者。

博弈顺序

(0) 自然对长度为 1 的连续购买者分配质量数值。他们一半是“弱”购买者（$\theta=0$），“弱”购买者对高质量的估计为 20，对低质量的估计为 10；一半是“强”购买者（$\theta=1$），“强”购买者对高质量的估计是 50，对低质量的估计是 15。

(1) 销售方选择销售 $s=0$（低）和 $s=1$（高）两种质量的产品或者只销售一种质量的产品。

(2) 销售方从区间 $[0, \infty)$ 上选择价格 p_L 和 p_H。

(3) 每个购买者选择购买 1 单位产品或者不购买产品。销售方在常数边际成本 $c=1$ 处生产产品，边际成本不随着产量的变化而变化。

支付

$$\pi_{销售方} = (p_L - 1)q_L + (p_H - 1)q_H \tag{14.62}$$

$$\pi_{购买者} = (10 + 5\theta) + (10 + 25\theta)s - p \tag{14.63}$$

这是一个机制设计的问题。销售方如果想提供两种质量产品且能有正的销售额，它就需要选择 p_1 和 p_2 以满足激励相容条件和参与约束条件，并且它还需要决定这样做是否比只提供一种质量产品有更大的收益。

我们在垂直差异化Ⅰ中解决了一种质量产品的问题，它获得的收益为 24.5。垄断者并不是简单地增加第二种质量选择，即对弱购买者提供低质量、低价格产品，因为从高质量产品获得零收益的强购买者会转向购买低质量产品，从而获得正的收益。在均衡中，垄断者要给强购买者正的收益。强购买者的参与约束不发生作用。在考察“好”类型问题之前我们已经见过多次。

按照通常的方法，参与约束会对弱购买者发生约束作用，所以 $p_L=10$。自选择约束对强购买者也会发生作用，所以

$$\pi_{强}(L) = 15 - p_L = 50 - p_H \tag{14.64}$$

因为 $p_L=10$，这将得到 $p_H=45$。对高质量产品的价格必须比低质量产品的价格要高 35 才能将两种类型的购买者分开。现在的收益是：

$$\pi_{销售方} = (10-1)\times 0.5 + (45-1)\times 0.5 = 26.5 \qquad (14.65)$$

这超过了提供一种质量产品时的利润 24.5，所以销售方销售两种质量产品是最优的。

当然该结果依赖于参数的选择，但这不是一个特殊的案例，它并不比销售方仅选择一种质量产品达到利润最大化这一特殊案例更特殊。允许价格歧视的结果是帕累托改进的。销售方因为收益从 24.5 提高到 26.5 而改善了处境。强购买者因为他们支付的价格从 50 降到 45，他们的处境也得到改善。并且弱购买者的状况没有恶化。因为在垂直差异化Ⅰ中，他们选择不购买而获得零收益；在垂直差异化Ⅱ中，他们购买的价格恰好等于产品对他们的价值， 457
从而获得零收益。

的确，我们可以更进一步深入研究。假设低质量产品的成本比高质量产品的成本要高，例如 $c_L=3$ 以及 $c_H=1$，因为通常以高质量生产的产品，需要故意损坏它使它变为低质量产品。在（14.65）式中，价格歧视利润是 $\pi_{销售方}=(10-3)\times 0.5+(45-1)\times 0.5=25.5$。由于它仍然比 24.5 高，销售方仍然采取价格歧视。购买者的收益没有受到影响。因此允许销售方损坏一些产品，将它从高质量变为低质量，由此对每单位产品花费的实际资源为 2，也可以得到帕累托改进！

该观点来自德内克瑞和麦卡菲（Deneckere & McAfee，1996），他们用现实生活中故意损坏计算机芯片和打印机，以实现价格歧视的例子说明了该理论。还可以参见 McAfee（2002，p. 265），他以索尼为例告诉我们，索尼生产 60 分钟和 74 分钟两款迷你光盘，在 2002 年这两种产品在开始时都是 74 分钟的容量，但是索尼通过对光盘加码使得 14 分钟是不能利用的，从而得到 60 分钟光盘。该加码是额外的固定成本，IBM 1990 年的激光打印机 E 是带有额外边际成本的受损产品的另一个例子。激光打印机 E 是最初激光打印机的翻版，它的打印速度只有原来的一半。原因是什么？IBM 增加了额外的 5 块芯片，使激光打印机 E 的打印速度下降。

我们将分析更多的产品差异化博弈：有两个销售方而不是一个。这将表明产品差异化能够提高利润，垂直差异化如同我们在霍特林博弈中遇到的水平差异化一样，也能提高利润。

垂直差异化Ⅲ：双头垄断下的质量选择

参与人

两个销售方和一个具有连续统的购买者。

博弈顺序

(0) 自然对长度为 1 的连续购买者分配质量数值。他们一半是“弱”购买者 ($\theta=0$)，“弱”购买者对高质量的估计为 20，对低质量的估计为 10；一半是“强”购买者 ($\theta=1$)，“强”购买者对高质量的估计是 50，对低质量的估计是 15。

(1) 销售方 1 和销售方 2 同时从集合 $\{0, 1\}$ 中选择 s_1 和 s_2。它们可能选择相同的数值。

(2) 销售方 1 和销售方 2 同时从区间 $[0, \infty)$ 上选择价格 p_1 和 p_2。

(3) 每个购买者选择购买 1 单位产品或者不购买产品。销售方在常数边际成本 $c=1$ 处生产产品，边际成本不随着产量的变化而变化。

支付

$$\pi_{\text{销售方}} = (p-1)q \tag{14.66}$$

及

$$\pi_{\text{购买者}} = (10+5\theta)+(10+25\theta)s-p \tag{14.67}$$

458 如果两个销售方都选择相同的质量水平，它们的利润将是零。但是如果它们选择不同的质量水平，利润将是正的。从而在博弈的质量选择阶段将有可能的三种均衡：(低，高)，(高，低) 以及一个对称混合策略均衡。我们首先考虑纯策略均衡，为了不失一般性，假设销售方 1 是低质量销售方，销售方 2 是高质量销售方。

1. 垂直差异化Ⅱ中的均衡价格 ($p_L=10$，$p_H=45$) 将不再是均衡价格。低质量销售方可以偏离到价格 $p_L=9$，通过小幅降低价格，它可以使销售量双倍地增加。

2. 的确，在价格上没有纯策略均衡。我们可以看到 ($p_L=10$，$p_H=45$) 不是一个均衡，即使高质量销售方对 $p_L=10$ 的最优反应是 $p_H=45$。$p_L>10$ 则不能吸引到购买者，所以它不能构成均衡的一部分。假设 $p_L\in(0, 10)$。高质量销售方的反应是令 $p_H=p_L+35$，在这种情况下低质量销售方通过小幅降低 p_L，就能双倍地增加它的销售额，并能增加它的利润。$p_L=1$ 是使低质量销售方不会得到负利润的唯一价格，但是会得到零利润，所以比 $p_L=10$ 时要差。因此，没有 p_L 能成为一个纯策略均衡的一部分。

3. 和通常一样存在一个均衡，它必须是混合策略的，如下所示。

非对称均衡：质量纯策略、价格混合策略

低质量销售方利用如下累积分布函数在支撑集 [5.5，10] 上选择价

格 p_L：

$$F(p_L) = 1 - \left(\frac{39.5}{p_L + 34}\right) \tag{14.68}$$

在 $p_L = 10$ 处具有奇异点概率 39.5/44。

高质量销售方利用如下累积分布函数在支撑集 [40.5，45] 上选择价格 p_H：

$$F(p_H) = 2 - \left(\frac{9}{p_H - 36}\right) \tag{14.69}$$

如果 $10 - p_L \geqslant 20 - p_H$，该条件在均衡中总成立，弱购买者将从低质量销售方处购买产品。如果 $15 - p_L > 50 - p_H$，该条件成立的概率为正，强购买者将从低质量销售方处购买产品，否则从高质量销售方处购买产品。

该均衡是显著的，因为它在混合策略分布中包括了一个概率奇异点，这在价格博弈中并不常见。低质量销售方通常选择 $p_L = 10$，但是它在 5.5 和 10 之间用一定的概率混合选择。这种情况之所以会发生的一个直观解释是：弱购买者对低质量销售方是“安全的”顾客，对他们的垄断价格是 10，但是除非低质量销售方选择按一定的概率降低价格去尽力吸引强购买者，高质量销售方维持的高价格（$p_H = 45$）与该降价是同样有效的。

为了得到均衡，我们假设低质量销售方在它的混合支撑集中不包括高于 459
10 的价格但包括 $p_L = 10$ 本身。这是合理的，因为若价格高于 10，它将失掉所有的低质量购买者，但是无论 p_H 多么低，只有弱购买者购买低质量产品，$p_L = 10$ 将获得最大化利润。

低质量销售方在 $p_L = 10$ 处得到的利润是 $\pi_L(p=10) = 0.5 \times (10-1) = 4.5$。从而他的混合分布支撑集的下界（用 a_L 表示）也必须得到 4.5 的利润。没有一个价格能低于按概率 1 赢得强消费者的价格，这时

$$\pi_L(a_L) = 0.5(a_L - 1) + 0.5(a_L - 1) = 4.5 \tag{14.70}$$

可得 $a_L = 5.5$。从而低质量销售方在 [5.5，10] 上采取混合策略。

在混合支撑集上，低质量销售方在任何价格下的利润必须等于 4.5。从而

$$\begin{aligned} \pi_L(p_L) = 4.5 &= 0.5(p_L - 1) + 0.5(p_L - 1)\text{Prob}(15 - p_L > 50 - p_H) \\ &= 0.5(p_L - 1) + 0.5(p_L - 1)\text{Prob}(p_H > 35 + p_L) \\ &= 0.5(p_L - 1) + 0.5(p_L - 1)[1 - G(35 + p_L)] \end{aligned} \tag{14.71}$$

因此 $G(p_H)$ 函数使得

$$1-G(35+p_L)=\frac{4.5}{0.5(p_L-1)}-1 \tag{14.72}$$

以及

$$G(35+p_L)=2-\frac{4.5}{0.5(p_L-1)} \tag{14.73}$$

我们需要得到 G 为 p_H 而非 $(35+p_L)$ 的函数，所以

$$G(p_H)=2-\left(\frac{4.5}{0.5([p_H-35]-1)}\right)=2-\left(\frac{9}{p_H-36}\right) \tag{14.74}$$

与第 3 章中的解释一样，我们只需要得到高质量销售方的策略，以使得低质量销售方在它的混合支撑集上的所有 p_L 值都与之不同即可。

我们可以通过得到满足 $G(a_H)=0$ 和 $G(b_H)=1$ 的 a_H 和 b_H 数值，来得到高质量销售方混合分布函数的支撑集，所以

$$G(a_H)=2-\left(\frac{9}{a_H-36}\right)=0 \tag{14.75}$$

这得到 $a_H=40.5$，以及

$$G(b_H)=2-\left(\frac{9}{b_H-36}\right)=1^{*} \tag{14.76}$$

这得到 $b_H=45$。所以高质量销售方混合分布函数的支撑集是 [40.5，45]。

现在我们来求低质量销售方的混合分布函数 $F(p_L)$。在 $p_H=40.5$ 时，高质量销售方失去强购买者而低质量销售方得到强购买者的概率为零，所以它的利润为 $0.5\times(40.5-1)=19.75$。现在考虑较复杂的情况。在 $p_H=45$ 时，
460 如果高质量销售方失去强购买者而低质量销售方得到强购买者的概率为 1，它的收益是零，那么它会严格偏好 $p_H=40.5$。所以在 $p_H=45$ 时，$p_L=10$ 必须有严格正的概率而不是仅仅只有正的概率密度。因此应用我们得到的在高质量销售方的混合支撑集中的任意价格所得到的利润都是 19.75，从而

$$\begin{aligned}\pi_H(p_H)=19.75&=0.5(p_H-1)\text{Prob}(15-p_L<50-p_H)\\&=0.5(p_H-1)\text{Prob}(p_H-35<p_L)\\&=0.5(p_H-1)[1-F(p_H-35)]\end{aligned} \tag{14.77}$$

所以

$$F(p_H-35)=1-\frac{19.75}{0.5(p_H-1)} \tag{14.78}$$

---

* 原书为 $G(b_H)=2-\left(\frac{9}{(0)b_H-36}\right)=1$，疑有误。——译者注

同样应用（14.74）式中的替换技巧，用 p_L 代替（p_H-35）作为 F 的自变量，得到

$$F(p_L)=1-\frac{19.75}{0.5(p_L+35-1)}=1-\frac{39.5}{p_L+34} \tag{14.79}$$

特别地，注意到

$$F(5.5)=1-\frac{39.5}{5.5+34}=0 \tag{14.80}$$

与我们前面得到的 p_L 的最小值 5.5 是一致的，并且

$$F(10)=1-\frac{39.5}{10+34}=1-\frac{39.5}{44}<1 \tag{14.81}$$

（14.81）式表明，在低质量销售方混合支撑集的上界处的累积混合分布的概率不等于 1，这种情形在混合分布中不常见。这表明在 $p_L=10$ 处有一个奇异点，它的概率等于 1 减去（14.81）式计算的价格低于 10 的概率，即奇异点的概率必须等于 $39.5/44\approx0.9$。

幸运地，这解决了我们在 $p_H=45$ 处高质量销售方利润为零的困境，如果在 $p_L=10$ 处的概率为 39.5/44，从 $p_H=45$ 得到的利润是 $0.5\times(39.5/44)\times(45-1)=19.75$。从而在 $p_H=45$ 处得到的利润与 $p_H=40.5$ 处得到的利润是一样的，销售方将在它们之间采取混合策略。

如果你在计算混合概率时得到的结果是小于 0 或大于 1，从第 3 章所得出的一个技巧性结论是，均衡可能不在混合策略中（另一种可能性是数值计算错误）。如果计算混合分布支撑集得到一个不可能的边界，此处的技巧是，你必须考虑分布具有奇异点概率的可能性。

在垂直差异化Ⅲ的非对称均衡中，双头垄断销售者的利润是 14.5（低质量产品）和 19.75（高质量产品），整个行业的总利润是 24.25。这一利润既低于垂直差异化Ⅰ中不采取价格歧视的垄断者所获得的 24.5，也低于垂直差异化Ⅱ中采用价格歧视的垄断者所获得的 26，但是对垂直差异化Ⅲ中的混合策略，均衡又是什么情况呢?

对称均衡：质量和价格的混合策略

每个参与人按概率 $\alpha=4.5/24.5$ 选择低质量，在其他情况下选择高质量。 461
如果他们选择相同的质量，接下来他们都选择价格等于边际成本 1；如果他们选择不同的质量，他们将按照非对称均衡中的混合分布来选择价格。

该均衡比较容易解释。按照逆向归纳法，如果他们选择相同的质量，两

家厂商将展开无差异的价格竞争，通过选择价格等于边际成本得到的利润为零。如果他们选择不同的质量，他们的处境与非对称均衡情形下的处境相同，低质量产品的厂家的期望收益是 4.5，高质量产品的厂家的期望收益是 19.75。在均衡中选择产品质量时，每种质量得到的期望收益都必须相等，所以两家厂商按一个较高的概率同时选择高质量：

$$\pi(\text{低}) = \alpha(0) + (1-\alpha)4.5 = \pi(\text{高}) = \alpha(19.75) + (1-\alpha)(0) \tag{14.82}$$

求解（14.82）式得到 $\alpha = 4.5/24.5 \approx 0.17$，在这种情况下每个参与人的收益大约是 3.75，从而即使一个参与人在纯策略均衡中扮演低质量销售方的角色，他也能得到 4.5 的期望收益，这个结果也比在对称均衡中的“公平”期望收益要好。

如果参与人能够按某种规则选择均衡，可以推断，他们或许通过廉价对话和一些随机焦点变量，来选择纯策略均衡。

或者，他们能够改变博弈的规则，以使他们可以序贯选择质量。假设一个销售方首先选择质量，他当然会选择高质量，得到的支付是 19.75。第二个行动者理所当然地选择低质量，得到收益 4.5，这将比在对称混合策略均衡中同时选择质量博弈的期望收益要好。该结果与性别战中同时行动博弈中序贯选择的对称混合策略均衡中是帕累托占优的情形一样。

如果销售方 1 首先选择质量和价格，销售方 2 对质量和价格作出反应的情形又会怎样？如果销售方 1 选择低质量，那么它的最优价格是 $p_L = 10$，因为第二个参与人将选择高质量并且收取足够低的价格 $p_H = 45$ 来吸引强购买者，所以在均衡中，销售方 1 的收益是 $0.5 \times (10-1) = 4.5$。如果销售方 1 选择高质量，那么它的最优价格是 $p_H = 40.5$，因为如果 $p_H < 40.5$，第二个参与人将会选择低质量并且选择足够高的价格来吸引强购买者。当然，如果 $p_H = 40.5$，销售方 2 会放弃吸引强购买者而选择价格 $p_L = 10$。所以，如果销售方 1 首先同时选择质量和价格，它将选择高质量以及 $p_H = 40.5$，而销售方 2 选择低质量以及 $p_L = 10$，虽然不再是混合策略，它们得到的收益与同时行动博弈中的非对称均衡中得到的收益相同。

产品差异化Ⅲ表明在寡头竞争中，与水平差异化一样也会出现垂直差异化。针锋相对的竞争会降低利润，所以厂家尽可能地按某种方式采取差异化。这提高了它们的利润，但是也使消费者受益，虽然这一点在采用水平差异化时比采用垂直差异化时更明显。请记住，在我们的博弈中我们假定高质量产品的成本不大于低质量产品的成本。通常情况下高质量产品的成本也高，这

462 表明多种质量水平的选择都是有效的。通常穷人喜欢低质量产品，在给定高

质量产品成本的情况下，即使社会计划者也愿意提供多种质量水平的产品。这里我们看到只有提供高质量产品是最优的，一个垄断者提供两种质量产品而不是一种，对消费者会更好，在双头垄断中更是如此。

*14.6 耐用品垄断

经济学原理课程常常对交易发生的时间段一带而过。在用图表示某个小装饰品的需求和供给时，横轴上标的是“某种装饰品”，而不是“每一周的某种装饰品”或“每一年的某种装饰品”。另外，这些图隐含地假设当期的需求和供给与以后各期无关，因而把当期与以后各期割裂开来。从需求方面来讲，这种做法的一个问题是，如果一个物品能使用一期以上，那么尽管价格是在当期一次付清，但从消费该物品中得到的效用会持续到将来各个时期。如果史密斯买了一栋房子，他购买的不仅是明天居住在这栋房子里的权利，而是在将来的许多年里居住在这栋房子里的权利，他甚至还可以住几年后再把房子卖给其他人。他从耐用品的消费中持续得到的效用称作**服务流**（service flow）。即使史密斯不想把他的房子租出去，由于购买房子是在当期的支出和未来的效用之间作一个权衡，所以对他来说购买房子仍然是一个投资。因为一件衬衫所产生的服务流也是分布在一个时间段内的，所以物品的耐用性就给国民收入核算带来了严重的问题。在国民收入核算里，住宅被算作国民投资的一部分（住宅提供的服务流被算作服务消费），汽车是耐用品消费，而衬衫是非耐用品消费。但在某种程度上，所有这些都是耐用品投资。

在微观经济学里，“耐用品垄断”并非指持续很长时间的垄断，而是耐用品销售的垄断。这里就产生了一个很有意思的问题：当一个垄断者出售一台冰箱给消费者时，那么在这台冰箱损坏之前，这位消费者就退出了冰箱市场。因此，垄断者选择的不同价格决定了各个时期不同的需求曲线，这时模型就不能只考虑当期而忽略将来各期。因为价格在 t_1 期的上升会影响 t_2 期的需求数量，所以现在需求不是**时间无关**（time separable）的。

因为从某种意义上来说，耐用品的垄断者确实有一个竞争者——将来各期垄断者自己，所以耐用品垄断者面临着很特殊的问题。如果它在第一期定一个很高的价格的话，那么需求比较强烈的一部分顾客就在第一期购买，然后退出这个市场。因此，为了让剩下的、需求较弱的那部分顾客在接下来的时期里也购买商品，耐用品垄断者就要在第一期以后的各期里制定一个较低的价格。但是，如果顾客都知道垄断者将会降低价格，那么需求比较强烈的那部分顾客就不会在第一期以高价格购买商品。因此，以后各期的低价格迫

使垄断者也要降低当期的价格。

这解释了产品差异化的另一面：产品的耐用性。垄断者是否愿意生产一种不耐用的赝品？在我们早已分析过的垂直差异化中耐用性是不同的，因为耐用性具有时间含义。如果忽略产品质量的其他方面，购买低耐用产品的购买者会比购买高耐用产品的购买者以更快的速度从市场中重新购买。

为了模型化上面的情形，我们假设一个卖者垄断着某种能够保存两期的商品。它为两个时期分别制定价格，买者决定每个时期的商品购买数量。和
463 第 7 章的委托—代理模型一样，因为这个买者代表了整个市场需求，所以我们就要安排好博弈顺序，以使这个买者没有市场力量。或者，我们也可以把这个买者看成一个连续的消费者（参见 Coase（1972）和 Bulow（1982））。按照这个解释，不是一个顾客在第一期购买了 q_1 个单位的商品，而是所有的顾客中有 q_1 个顾客在第一期各购买了 1 个单位的商品。

耐用品垄断

参与人

一个买者和一个卖者。

博弈顺序

（1） 卖者选择第一期的价格，p_1。

（2） 买者购买 q_1 单位的商品，消费 q_1 单位的服务流。

（3） 卖者选择第二期的价格，p_2。

（4） 买者再购买 q_2 单位的商品，消费 q_1+q_2 单位的服务流。

支付

生产成本为零，没有折旧和贴现。卖者的支付就是他的收入，买者的支付就是各期消费的收益的总和减去购买商品的支出。如图 14—10 所示，买者在时期 t 从消费服务流中得到的边际收益，同时也是他所愿支付的价格是

$$B(q_t) = 60 - \frac{q_t}{2} \tag{14.83}$$

因此，卖者的收益函数为

$$\pi_{卖者} = q_1 p_1 + q_2 p_2 \tag{14.84}$$

如图 14—10 所示，因为消费者的总收益是一个三角形和一个长方形的面积之和，所以

$$\begin{aligned}\pi_{买者} &= [\text{第一期的消费者剩余}]+[\text{第二期的消费者剩余}] \\ &= [\text{第一期的总收益}-\text{第一期的支出}]+[\text{第二期的总收益}-\text{第二期的支出}] \\ &= \left[\left(\frac{60-B(q_1)}{2}q_1+B(q_1)q_1\right)-p_1q_1\right] \\ &\quad +\left[\left(\frac{60-B(q_1+q_2)}{2}(q_1+q_2)+B(q_1+q_2)(q_1+q_2)\right)-p_2q_2\right]\end{aligned} \tag{14.85}$$

在一期模型里，把价格和需求量联系起来的需求曲线和边际收益曲线是相同的，所以我们可能不太习惯在耐用品垄断下的需求曲线。在耐用品垄断的情况下，两个时期的需求曲线是不一样的。作为博弈规则的一部分，把消 464 费和效用联系起来的边际收益曲线在每个时期都是一样的。但各个时期的需求曲线是不同的，需求曲线取决于均衡策略、将来还能消费商品的服务流的时期数、预期的以后各期的价格，以及已经拥有的商品数量。对买者来说，边际收益是给定的，他的策略就是需求数量。

买者在第一期的总收益等于购买 q_1 单位的商品所带来效用的美元价值，这一价值等于买者为了能在第一期租到 q_1 单位的商品所愿意付出的价格。如图 14—11（a）所示，买者在第一期的总收益由两部分组成，上面的三角形区域为 $(1/2)(q_1+q_2)[60-B(q_1+q_2)]$，下面的长方形区域为 $(q_1+q_2)B(q_1+q_2)$。从总收益中减去第一期的支出 p_1q_1，就得到第一期的消费者剩余。除非在某些很偶然的情况下，p_1q_1 和下面的长方形一般不相等。因为商品是耐用品，第一期的支出在第二期仍然可以产生效用，所以第一期的消费者剩余很可能是负的。

在求解均衡的价格路径时，我们不能简单地将卖者的效用对 p_1 和 p_2 求导。这既不符合卖者的序贯理性，也和买者的最优反应不相符。这时我们要找到一个完美子博弈均衡，也就是说，我们应该从第二期开始考虑：给定第一期的购买数量 q_1，买者将在第二期购买多少；给定买者在第二期的需求函数，卖者将会索要多高的价格。

在第一期，消费者在边际上消费的商品是第 q_1 单位的商品。在第二期，消费者在边际上消费的商品是第 (q_1+q_2) 单位的商品。图 14—11（b）画出了第一期购买结束以后的剩余需求曲线。这条剩余需求曲线和 14.2 节中需求强度配给下有生产能力约束的伯特兰博弈导出的需求曲线很相像（见图 14—11（a））。需求最强烈的 q_1 位顾客已经被满足了，剩余的需求从边际收益 $B(q_1)$处开始，且斜率和原来的边际收益曲线的斜率相同。由（14.83）式，

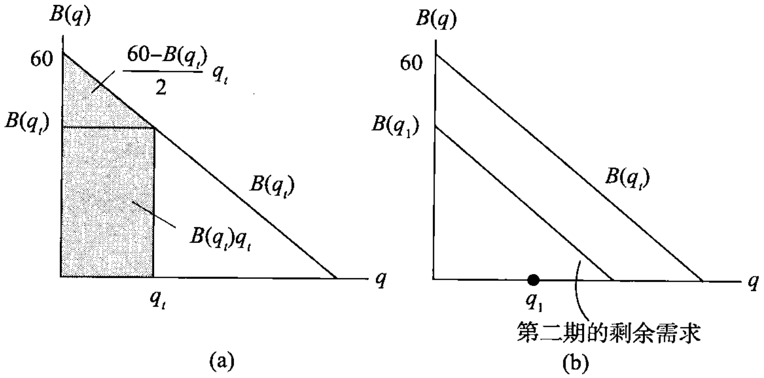


图 14—11　耐用品垄断博弈中买者在各期的边际收益

我们可以得到剩余需求曲线的表达式：

$$p_2 = B(q_1) - \frac{q_2}{2} = 60 - \frac{1}{2}q_1 - \frac{1}{2}q_2 \qquad (14.86)$$

465　因为卖者最大化 q_2p_2，所以我们可以解出垄断产量 q_2^*

$$\underset{q_2}{\text{Maximize}}\, q_2\left(60 - \frac{1}{2}(q_1 + q_2)\right) \qquad (14.87)$$

由此得出一阶条件为：

$$60 - q_2 - \frac{1}{2}q_1 = 0 \qquad (14.88)$$

因此，

$$q_2^* = 60 - \frac{1}{2}q_1 \qquad (14.89)$$

由（14.88）式和（14.89）式，可得 $p_2^* = 30 - q_1/4$。

现在，我们开始求解第一期的垄断产量 q_1^*。在第一期，买者预期可以在第二期以较低的价格购买商品。在第一期购买商品有两方面的好处：买者在第一期消费商品获得服务流，同时，在第二期消费第一期所购买的商品而获得服务流。买者在第一期愿意支付的价格不会超过他在第一期消费商品获得服务流的边际收益和他预期的第二期商品价格 p_2 的和。由（14.89）式可知，p_2 的预期值为 $30 - q_1/4$。如果卖者准备在第一期销售 q_1 单位的耐用品，那么可以通过下式来确定价格：

$$p_1(q_1) = B(q_1) + p_2$$

$$= \left(60 - \frac{1}{2}q_1\right) + \left(30 - \frac{1}{4}q_1\right)$$

$$= 90 - \frac{3}{4}q_1 \tag{14.90}$$

因为卖者知道自己在第二期将会根据（14.89）式选择 q_2，所以可以用（14.89）式和（14.90）式把卖者在两期的总收益写成 q_1 的函数。

$$\pi_{卖者} = (p_1 q_1 + p_2 q_2) = \left(90 - \frac{3}{4}q_1\right)q_1 + \left(30 - \frac{1}{4}q_1\right)\left(60 - \frac{1}{2}q_1\right)$$

$$= 1\ 800 + 60q_1 - \frac{5}{8}q_1^2 \tag{14.91}$$

得出一阶条件：

$$60 - \frac{5q_1}{4} = 0 \tag{14.92}$$

因此，

$$q_1^* = 48 \tag{14.93}$$

由（14.90）式可得，$p_1^* = 54$。

由（14.89）式可得，$q_2^* = 36$ 和 $p_2 = 18$。因此，卖者在两期的总利润为：$\pi_s = 3\ 240 (= 54 \times 48 + 18 \times 36)$。

进行上面这些计算的目的是把我们所讨论的情形与其他三种市场结构进行一些比较。这三种市场结构分别是竞争市场、垄断者只出租而不销售耐用品以及垄断者只在第一期出售耐用品。 466

在竞争市场中，价格最终会等于边际成本，也就是零。因此由（14.83）式得出 $p_1 = 0$ 和 $q_1 = 120$，因为购买者将会一直购买，直到购买的边际收益为零。利润也是零。

如果垄断者出租耐用品而不是销售的话，那么垄断者就能有效地分别在各期向消费者出售耐用品的服务，因此（14.83）式和普通的需求函数是一样的。这时垄断者可以以 30 的租金每期出租 60 个单位的耐用品，垄断者的利润为 $\pi_s = 3\ 600$，高于 3 240，因此出租耐用品所得的利润高于直接出售耐用品所得的利润。直接出售耐用品的问题在于第一期的价格不能很高，否则在第一期的购买结束以后，买者就知道垄断者将在第二期降低价格。出租耐用品就避免了这个问题。

如果垄断者承诺在第二期不生产耐用品的话，它就可以在第一期以 60 的价格出售 60 单位的耐用品，这时垄断者的利润和它在只出租耐用品时的两期

利润总和是一样的。一个例子是艺术家在制作了一定数量的艺术品后，就会把模具或底版毁掉。在这里，我们要假设艺术家能够让市场相信他已经把模具或底版毁掉了。人们常常开玩笑说艺术家提高自己作品价值的最佳办法就是让自己死掉，这个玩笑是符合我们的模型的。

如果模型不考虑序贯理性的问题，直接对垄断者的收益函数中的 p_1 和 p_2 求导来寻找纳什均衡的话，我们得到的结果和垄断者在第二期不生产销售耐用品时的结果是一样的。例如，$p_1 = 60$，$p_2 = 200$，买者的需求函数为 $q_1 = 120 - p_1$，$q_2 = 0$。这是一个纳什均衡，因为给定对方的策略，没有人有激励偏离这个均衡。但是，如果垄断者在第二期偏离均衡，制定一个较低的价格的话，买者的反应也是偏离 $q_2 = 0$ 的均衡购买量，增加购买数量，所以这个均衡不是完美子博弈均衡。

如果时期超过两期，耐用品垄断者的问题会越来越明显。在没有折旧和贴现的无限期模型里，如果边际生产成本为零的话，那么出售而不是出租这种耐用品的均衡价格也恒为零。模型假设有很多个买者，较早时期的买者预期到垄断者有激励在他们的购买结束以后降低耐用品的价格，以便把耐用品卖给剩下的那些对之评价较低的消费者。实际上，随着消费者的需求强度越来越弱，垄断者也会持续地降低价格以把耐用品卖给越来越多的消费者，直至价格等于边际成本为止。在没有效用贴现的情况下，即使是对耐用品评价较高的消费者也拒绝接受较高的价格，相反，他们会等到价格降为零时才购买。而且，这并不是“无限期”的恶作剧：只要时期比较长，价格就会相当接近于零。

我们也可以用耐用品垄断模型来分析产品的耐用性问题。如果垄断者能生产一种很不牢固、只能使用一期的产品，这时垄断者就相当于在出租耐用品。就消费者而言，如果他知道某种产品只能使用一年的话，那么他愿意为租用一年而支付的租金和他愿意把它买下来而支付的价格是相等的。垄断者在生产低耐用性产品时的利润和产量与他在出租耐用品时的利润和产量是一样的，这就解释了为什么有市场力量的厂商总是喜欢生产折旧年限较短的产品。这并不是说垄断者利用它的市场力量把低质产品强加给消费者，那样的话它得到的价格也会随着质量的降低而减少。垄断者利用低耐用性产品告诉对商品评价较高的消费者：垄断者看好在未来各期的销量，因而不会在以后的时期里降低价格。

467 本书以耐用品垄断的情况作总结。本书也是耐用品吗？现在我写的是它的第四版，我不能说它是非常耐用的，因为在每版中都会有改进，但是我可以诚恳地说，如果一个理性的消费者喜欢第一版，他就应该购买随后的每一

版。如果你能从本书中受益，同时你的时间又非常珍贵，你必须用阅读代替独立思考，即使我的出版商和我收取的价格较贵。

当然我增加了一些新的材料，并且改进了旧材料的解释，但是基本思想仍然保持一致。中心思想是在现代经济学模型中，建模者首先考虑参与者、行动、信息和收益，剥掉表面现象，直达事情本质。这样做可以从假设中得到利润最大化均衡的行动。本书讲授了把假设与结论联系起来的各种各样的方法，正如一本关于国际象棋战略的书，讲授取得胜利或失败的多种多样的棋盘组合。当然与关于国际象棋的书一样，一般的技巧和简化方法是重要的事情，但更重要的是认识到事情的一般特征和采取何种策略去应对。

注

N14.1　产量作为策略：古诺均衡的再讨论

- 有关古诺模型中纯策略均衡的存在性的讨论参见 Rorberts & Sonnonschein (1976)，Novshek (1985) 以及 Gaudet & Salant (1991)。
- **古诺模型中的合并**。古诺模型的一个问题是，厂商的最优对策常常是把自己分成若干个独立的厂商。Apex 公司在双寡头垄断时得到了整个行业的利润的一半。如果把 Apex 公司分割成第一 Apex 公司和第二 Apex公司的话，尽管行业利润下降了，但这两个公司能得到的利润为三寡头垄断时古诺博弈的行业总利润的 2/3。

  萨伦特、斯威策和雷诺兹 (Salant，Switzer & Reynolds，1983) 发现了这一点，后面的习题 14.2 也将讨论这个问题。有趣的是，尽管学者们对古诺模型的研究非常多，但在此之前却没有人发现这一点。如果换个角度考虑扩大参与人的策略空间对参与人的影响的话，我们就能很容易想到这一点了。
- 布雷斯纳汉和赖斯 (Bresnahan & Reiss，1991) 就厂商数量对市场价格的影响做了非常有独创性的研究，他们对几个很小的只有一个、两个、三个或更多厂商的市场做了实证研究。他们发现：当厂商数量从一个增加为两个时，价格会大幅度下降；当厂商数量从两个增加为三个时，价格的下降幅度小于厂商数量从一个增加为两个时的价格下降幅度；当厂商数量再增多时，价格的下降幅度就很有限了。

  我们在本书的前言部分已经讲过，实例化理论只能就事论事地解释某个特殊的情况，这种理论对跨行业的一般性情形无能为力。和建

立在案例基础上的理论联系在一起的实证研究更容易遇到历史事实，而不是经济学所熟悉的线性回归。但是，布雷斯纳汉和赖斯（Bresnahan & Reiss，1991）表明归纳法和计量经济学在产业组织里也是很有用的。把一般数据和现代产业组织理论结合起来的典范之作是萨顿写于 1991 年的《沉没成本与市场结构》（*Sunk Costs and Market Structure*）一书。这本书把理论、历史和数据有机地结合在一起。

N14.2 生产能力约束：艾奇沃斯悖论

- 莫里森（Morrison，1998）指出，古诺模型（第 7 章）如同以它命名的产量竞争一样，的确可以应用于分析非完全替代品中的价格竞争。这
468 方便了进一步将伯特兰和古诺竞争加以比较，当然，可以通过简化的术语“价格”和“数量”竞争来代替。关于伯特兰的名字是如何同价格竞争联系起来的历史，请参见 Dimand & Dore（1999）。
- 需求强度配给有时也被称为**有效配给**（efficient rationing）。但是，在某些时候这个配给规则是无效率的。一些需求强度较低的顾客在面临较高的价格时将放弃购买商品，但是，此时这些顾客消费商品的边际收益高于商品的边际生产成本。需求强度配给被认为有效率的原因在于：如果剩下的顾客无论出什么价格都不能买到商品的话，此时需求强度配给就是有效率的。
- OPEC 既实行价格控制也实行产量控制（“OPEC，Seeking Flexibility，May Choose Not to Set Oil Prices，but to Fix Output”，*Wall Street Journal*，October 8，1987，p. 2；“Saudi King Fahd Is Urged by Aides To Link Oil Prices to Spot Markets，” *Wall Street Journal*，October 7，1987，p. 2）。Weitzman（1974）是有关政府的价格和产量控制的经典参考书，但这本书没有在寡头垄断的背景下讨论这个问题。操作上的可行性决定了是控制价格还是控制产量，OPEC 就曾经聘请荷兰会计公司监控石油价格（“Dutch Accountants Take On a Formidable Task：Ferreting Out ‘Cheaters’ in the Ranks of OPEC，” *Wall Street Journal*，February 26，1985，p. 39）。
- 克雷普斯和沙因克曼（Kreps & Scheinkman，1983）证明生产能力选择和伯特兰定价能够导致古诺均衡产量。假设两个厂商面临着向下倾斜的市场需求曲线。在博弈的第一阶段，两个厂商同时选择生产能力；在博弈的第二阶段，两个厂商同时选择价格（有可能是混合策略）。如果一个厂商在博弈的第二阶段不能满足需求（因为有生产能力约束），

它就用需求强度配给来分配商品（结果正取决于此）。这个博弈的唯一的子博弈精炼均衡就是每个厂商选择古诺均衡时的生产能力和价格。

- 霍尔蒂温格和瓦尔德曼（Haltiwanger & Waldman，1991）把不同博弈的参与人分为两类：一类参与人是**反应者**（responders），能够灵活选择自己的行动；另一类参与人是**非反应者**（non responders），不能灵活选择自己的行动，参与人是非反应者的原因可能是因为参与人是非理性的，或者参与人应该首先行动，也可能仅仅是因为参与人的策略集合是有限的。他们还把博弈分为两类：一类博弈表现出**整合**（synergism），博弈中反应者的行动和其他大多数参与人的相同（参与人的反应曲线向上倾斜）；另一类表现出**拥挤**（congestion），博弈中的反应者采取和少数参与人相同的行动（参与人的反应曲线向下倾斜）。整合型博弈的均衡结果和所有参与人都是非反应者的博弈的均衡很相像；拥挤型博弈里的反应者对博弈的均衡结果有比较大的影响。霍尔蒂温格和瓦尔德曼将二分法应用到外部性、效率工资和声誉等问题上。
- 有多种方法可用来说明产品差异化。在本章中考察了水平差异化，其中所有的消费者都认为产品 A 和 B 比 A 和 C 更加相似，但是至于哪一种产品更好，他们的看法并不相同。在另一种情形下也可以考虑水平差异化，每个消费者都只认为一款特定的产品是最好的，而其他的产品都是相同的。参见迪克西特和斯蒂格利茨（Dixit & Stiglitz，1977）按照该思路构建的模型。或者，差异化是垂直差异化，所有的消费者都认为 A 比 B 好，B 比 C 好，但是对于 A 比 B 好多少他们的看法不一致。厂商从而在不同的价位提供不同的质量。谢克德和萨顿（Shaked & Sutton，1983）曾经研究过该类型的垂直差异化。

N14.3　区位模型

- 有关区位模型的详细讨论，请参见 Greenhut & Ohta（1975）。
- 维克瑞注意到区位模型里可能不存在纯策略均衡（参见 Vickery，*Microstatics*，1964，pp. 323－324）。达-阿斯普蒙特、盖勃斯维茨和塞斯（D'Aspremont，Gabszewicz & Thisse，1979）发现了二次运输成本情况下的混合策略均衡，奥斯本和皮特歇克（Osborne & Pitchik，1987）对霍特林原始模型也做了相同的工作。
- 区位模型和成本转换模型试图超越市场价格的概念。现实中的反托拉斯

469 案例表明某些特定市场上的定价行为是非常复杂的。参见萨坦在1974年出版的关于20世纪50年代美国电气设备市场的专著，或有关反托拉斯的案例，例如“美国政府诉艾迪斯顿管道和钢材公司”一案（85 F. 271 (1898)）。

- 在区位模型里，参与人的位置能否移动是很重要的（参见 Lane（1980））。
- 本章的区位模型用的是有终点的一维空间，也就是一条线段。另外一种一维空间是圆圈（注意：不是圆盘）。在圆圈上的每一点和其他点都没有什么区别，所以圆圈上的消费者也不会特别地偏好哪个点上的厂商。如果你愿意的话，你可以认为它们就像皮奥里亚和伯克利一样。在某些情况下（例如，飞机航班的时间可以分布在一天的24个小时之内），圆圈是符合现实情况的，因而会给模型带来很大的方便。如果有两个参与人的话，圆圈上的霍特林区位模型有两种纯策略均衡：一是两个参与人位于同一点上，二是两个参与人之间相隔180°。如果有三个参与人的话，圆圈上的霍特林区位模型也有一个纯策略均衡：每个参与人之间相隔120°，但一条线段上的三个参与人的霍特林区位模型是没有纯策略均衡的。
- 我们也可以把其他一些特征（如汽车的颜色）模型化为区位。但是，因为这些特征没有自然的顺序，所以我们只能在同类参与人的基础上把它们转化为区位模型。如果史密斯的排序是（红色＝1，黄色＝2，蓝色＝10），而布朗的排序是（红色＝1，蓝色＝5，黄色＝6），那么我们就不能把这两个人对颜色的偏好模型化在同一条线段上。在本书的正文里所讨论的特征是厂商的物理位置，人们对物理位置的偏好可能会有所不同，但是厂商之间的相对位置对每个人来说都是一样的。

N14.6 耐用品垄断

- 科斯（Coase，1972）指出：在没有贴现的无穷多时期下，耐用品垄断者的价格会降低到等于边际成本的水平。后来我们把这一命题称为“科斯猜想”，实际上这是一个定理而不是一个猜想，但是大家还是习惯于称它为“科斯猜想”。
- 加斯金斯（Gaskins，1974）写了一篇很著名的关于铝金属市场的论文，因为铝是可以回收再利用的，所以耐用品垄断者就给它自己制造了一个未来的竞争者。
- 1953年的反托拉斯案例——“美国政府诉联合制鞋机械公司”一案（110F. Supp. 295（1953））的主要问题就是作为耐用品垄断者的联合制

鞋机械公司出租制鞋机械给制鞋公司。不过当时的焦点并不是这一做法增加了垄断利润，而是长期的租赁合同阻碍了新的制鞋机械生产商进入这一市场，因此当时提出的替代性的解决办法是直接把制鞋机械出售给制鞋公司。另外，当时联合制鞋机械公司的租赁合同采取了一种融资安排形式，因而制鞋公司就不必像在购买制鞋机械时那样向银行贷款了。参见 Wiley，Ramseyer & Rasmusen (1990a)。

- 耐用品垄断者还有一个提高利润的办法：向顾客保证给予最优惠的价格，承诺如果将来有顾客得到了更低的价格的话，付出了高价的顾客就会得到相应部分的退款。但是，由于这一做法使耐用品垄断者没有激励在以后的时期降低价格，所以实际上是损害了顾客的利益。霍尔特和施弗曼（Holt & Scheffman，1987）分析了“最惠国待遇”合同，这一合同类似于市场里有好几个卖者时的合同（卖者承诺如果其他卖者的价格更低的话，顾客就会得到相应部分的退款），他们还分析了最惠国待遇合同是如何在市场上维持高价格的。潘格和赫什莱弗（Png & Hirshleifer，1987）指出，可以利用最惠国待遇合同对不同类型的顾客实行歧视价格。
- 我们可以把耐用品垄断模型和不完全信息的讨价还价模型放在一起作比较。两者都是两期模型，都是卖者在该期索要较高的价格，然后在第二期降低价格。在耐用品垄断模型里，对商品评价较高的顾客已经在第一期购买了商品，在第二期剩下的顾客都是对商品评价较低的顾客，因而卖者会在第二期降低价格。在不完全信息的讨价还价模型里，顾客在第一期拒绝了卖者在该期索要的较高价格，因此卖者判断顾客对商品的评价较低，于是就在第二期降低价格。对于一个理性的买者来说，这两种情况都不会发生，模型的复杂之处源于卖者试图回避这个问题。在耐用品垄断模型里，这会使得对商品评价较高的顾客等到第二期才购买；在不完全信息的讨价还价模型里，所有的顾客都会等到第二期才购买。更详细的讨论参见凯南和威尔逊的综述文章（Kennan & Wilson，1993）。

习 题

14.1 广告产生的异质伯特兰模型（中等难度）

两个厂商生产互相竞争的替代品，且需求曲线分别为： 470

$$q_1 = 10 - \alpha p_1 + \beta p_2 \quad (14.94)$$

和

$$q_2 = 10 - \alpha p_2 + \beta p_1 \tag{14.95}$$

边际成本为常数 $c=3$，参与人的策略是他的价格，假设 $\alpha > \beta/2$。

（a）厂商 1 的反应函数是什么？画出两个厂商的反应曲线。

（b）求出均衡价格和厂商 1 的均衡产量。

（c）β 的上升会给厂商 2 的反应函数带来什么变化？两个厂商的反应曲线会有什么变化？

（d）假设一次广告促销活动能够把 β 的值提高 1 个单位，而且广告促销活动给厂商增加的利润少于广告促销活动的成本。这时博弈应满足什么条件？如果两个厂商都能够承担这次广告促销活动的费用，这对它们之间的博弈会有什么影响？

14.2　古诺合并（容易）（参见 Salant，Switzer & Reynolds（1983））

某个行业里有三个相同的厂商，行业面临的需求曲线为 $P=1-Q$，其中 $Q=q_1+q_2+q_3$，边际成本为零。

（a）计算古诺均衡的价格和均衡产量。

（b）如何才能判断这个博弈没有不对称均衡，即每个厂商的产量和价格都与其他厂商相同？

（c）证明如果其中的某两个厂商合并成一个厂商的话，这两个厂商的股东的福利就会因此而下降。

14.3　异质产品的伯特兰模型（中等难度）

两个厂商生产的产品在某种程度上能够互相替代，且需求曲线分别为

$$q_1 = 10 - \alpha p_1 + \beta(p_2 - p_1) \tag{14.96}$$

和

$$q_2 = 10 - \alpha p_2 + \beta(p_1 - p_2) \tag{14.97}$$

其中，$\alpha > \beta$，边际成本为常数 c，且 $c < 1/\alpha$，参与人的策略是他的价格。

（a）画出反应曲线 $p_1(p_2)$ 和 $p_2(p_1)$，并写出两条曲线的表达式。

（b）请找出这个博弈的纯策略均衡。

（c）α、β 或 c 的上升对价格有什么影响？

（d）如果 α 上升了，但是只有厂商 2 知道这一点（厂商 2 知道厂商 1 不知道 α 上升了），这时博弈的均衡结果会有什么变化？厂商 2 愿意向厂商 1 显示

该变化吗?

14.4 不对称的古诺双寡头垄断（容易）

Apex公司生产产品的固定成本为1 000，可变成本为q_a^2，而Brydox公司生产产品的可变成本为$2q_b^2$，没有固定成本。需求曲线为$p=115-q_a-q_b$。 471

(a) Apex公司的古诺反应函数的表达式是什么?

(b) Brydox公司的古诺反应函数的表达式是什么?

(c) 两个公司在古诺均衡时的产量和利润是什么?

14.5 价格歧视（中等难度）

一个销售方面对大量购买者，购买者的市场需求是$p=\alpha-\beta Q$。产品边际成本c是常数。

(a) 垄断价格和利润是多少?

(b) 如果销售方可以采取要么接受—要么放弃的报价，在完全价格歧视下的价格是多少? 利润又是多少?

(c) 如果购买者和销售方对价格讨价还价并且平分剩余，那么在完全价格歧视下的价格是多少? 利润是多少?

科雷特的寡头博弈：第14章的课堂博弈

在斯莫斯维尔的装饰品行业中有N个厂商，每家厂商每月生产150件装饰品，所有的成本都是固定的，因为劳动人员是按年签订合同的，所以我们可以忽略这种情形下的生产成本，装饰品是易坏的；如果在一个月内它们不能被售出，它们将灰飞烟灭。

装饰品有两个市场：全国市场和本地市场。在全国市场中，每件装饰品的价格是20美元，顾客支付运费。但是在本地市场上的价格依赖于在给定的月份中销售量为多少，价格由如下市场需求曲线决定：

$$P=100-\frac{Q}{N}$$

式中，Q为在本地市场中所有装饰品的产出。当然如果该方程得到一个负的价格，该价格就是零，因为可以很容易销毁过量的装饰品。

20美元是在本地销售一件装饰品的机会成本。它是厂商作出该选择的损失。该选择的收益取决于其他厂商的行为。所有的厂商同时决定是否将装饰品运送到全国市场的其他城市。火车每月只到达斯莫斯维尔一

次，所以厂商不能撤销它们的决定。如果一家厂商作出的决定太迟，它将赶不上火车，它所有的产品只能在斯莫斯维尔销售。

一般程序

在最初的7个月，每个人都是一家独立的厂家。你们在卡片上写下两项指标：（1）月份，以及（2）该月你在本地市场的销售额。在你的记
472 分表上同时记录你的本地和全国市场的销售额。老师收回这些卡片，并且公布这个月的价格。你需要计算你这个月的利润并把它累计到计分表中的两项数值的总利润中去。

对剩下的5个月，你们将被分为5个不同的厂商，每家厂商的生产能力是150，并且呈交一份卡片。卡片上必须记录厂商的序号以及月份和本地产出。老师要计算市场价格，为了容易起见，可以取近似值。为了简化计算，你也可以取产出的近似值。

如果在最后期限，你没有上交卡片，意味着你没有赶上火车，并且所有的150件产品都必须在本地销售。你可以直到最后期限时才上交一份新的卡片，表明你改变了你的决定，你要注明以前的和现在新的产出，例如，“我想从40变为90”。

每个月的程序

1. 每个学生就是一家厂商。没有交流。

2. 每个学生就是一家厂商。没有交流。

3. 每个学生就是一家厂商。没有交流。

4. 每个学生就是一家厂商。没有交流。

5. 每个学生就是一家厂商。没有交流。

6. 每个学生就是一家厂商。你们相互之间可以进行交流，但是你们写下你们自己的产出并且分开上交所有的产出数量。

7. 每个学生就是一家厂商。你们相互之间可以进行交流，但是你们写下你们自己的产出并且分开上交所有的产出数量。

8. 你们可以从1到5组织成为厂商，所以$N=5$。厂商内的成员可以讨论，但厂商之间不能讨论，厂商的产出是保密的。

9. 你们可以从1到5组织成为厂商，所以$N=5$。厂商内的成员可以讨论，但厂商之间不能讨论，厂商的产出是保密的。

10. 你们可以从1到5组织成为厂商，所以$N=5$。你可以与任何你喜欢的人讨论，但是当讨论的时候每家厂商秘密地写下它的产量并上交。

11. 你们可以从1到5组织成为厂商，所以$N=5$。你可以与任何你

喜欢的人讨论，但是当讨论的时候每家厂商秘密地写下它的产量并上交。随同你的产出写下你的厂商的序号，当所有的产出都收到后，该数量将被公开。

你或许想知道科雷特。安德鲁·科雷特（Andrew Kleit）是宾夕法尼亚州立大学的经济学教授，他首先在课堂中应用了该寡头竞争博弈。

数学附录

473 本附录有三个目的：帮助一部分读者回忆以前曾见过的术语的定义，使另外一些读者了解这些术语讲的是什么，以及列出若干供参考的定理。与这些有限的目的相一致，本附录中并未对诸如边界点之类的术语加以定义。要想更全面地研究，在实证分析方面，可参见鲁丁（Rudin，1964）的著作和德布鲁的《价值理论》（*Theory of Value*，Debreu，1959），在经济学家常用的数学方面，可参见蒋中一（Chiang，1984）和高山晟（Takayama，1985）的著述。英特利盖特（Intriligator，1971）和范里安（Varian，1992）的书后都有优秀的数学附录，且这两本书都擅长讨论最优化问题。卡米恩和施瓦茨（Kamien & Schwartz，1991）的书都涵盖了通过函数选择来实现最大化的内容。博德（Bordor）在1985年的著作中专门讨论了不动点定理。斯托克和卢卡斯（Stokey & Lucas，1989）的著作是关于动态优化的。对于在博弈论中所使用的数学定理的一个最佳的参考资料是 Fudenberg & Tirole（1991a）。

互联网站是对数学定义非常有用的地方。可登录 http://en.wikipedia.org，http://mathworld.wolfram.com 以及 http://planetmath.org。

*A.1 符　号

$\sum$　　**加总**。$\sum_{i=1}^{3} x_i = x_1 + x_2 + x_3$。

$\prod$　　**连乘**。$\prod_{i=1}^{3} x_i = x_1 x_2 x_3$。

$\mid x \mid$	x 的**绝对值**。若 $x \geqslant 0$，则 $\mid x \mid = x$；若 $x < 0$，则 $\mid x \mid = -x$。
$\mid$	**“给定”**或“在……的条件下”。$\{x \mid x < 3\}$ 表示小于 3 的实数的集合。Prob($x \mid y < 5$) 表示在 y 小于 5 的条件下 x 的概率。
:	**“给定”**。$\{x : x < 3\}$ 表示小于 3 的实数的集合。冒号与符号 $\mid$ 的含义相同。
R^n	n 维**实数**（整数、分数以及属于它的最小上界的任意子集）向量集。
$\{x, y, z\}$	**元素 x，y，z 的集合**。集合 $\{3, 5\}$ 由 3 和 5 这两个元素组成。
$\in$	**“属于某一集合的元素”**。$a \in \{2, 5\}$ 意味着 a 的取值要么是 2，要么是 5。 474
$\subset$	**“集合包含于”**。若 $X = \{2, 3, 4\}$ 且 $Y = \{2, 4\}$，则 $Y \subset X$；因为 Y 是 X 的子集。
$[x, y]$	具有端点 x 与 y 的**闭区间**。区间[0，1 000] 指的就是集合 $\{x \mid 0 \leqslant x \leqslant 1\,000$。方括号也可作为分隔符。
(x, y)	具有端点 x 与 y 的**开区间**。区间 (0，1 000) 指的就是集合 $\{x \mid 0 < x < 1\,000\}$。(0，1 000] 是半开区间，指的就是集合 $\{x \mid 0 < x \leqslant 1\,000\}$。括号也可作为分隔符
$x!$	**x 的阶乘**。$x! = x(x-1)(x-2)\cdots(2)(1)$。$4! = 4\times3\times2\times1 = 24$。
$\binom{a}{b}$	从 a 个元素的集合中取出 b 个元素无序组合的数值。$\binom{a}{b} = \frac{a!}{b!(a-b)!}$，所以 $\binom{4}{3} = \frac{4!}{3!(4-3)!} = 24/6 = 4$。
$\times$	**笛卡儿积**。$X \times Y$ 就是点 $\{x, y\}$ 的集合，其中 $x \in X$，$y \in Y$。
ε	**任意小正数**。若我从左和右中所得到的支付都是 10，则我对它们是无差异的。若我从左中所得到的支付是($10+\varepsilon$)，则我偏好左。
$\sim$	若随机变量 X 的取值**服从分布** F，则我们称 $X \sim F$。
$\exists$	**“存在……”**。$\exists x > 0 : 9 - x^2 = 0$
$\forall$	**“任意……”**。$\forall x \in [0, 3]$，$x^2 < 10$。
$\equiv$	**“根据定义相等”**。“为清楚起见，我们定义平均收入 $x \equiv \theta^{w-1}/(a-1)^2 + b^2 + c$ 用于后面的表达式。”
$\rightarrow$	若 f 将空间 X **映射**到空间 Y，则写作 $f: X \rightarrow Y$。
$\frac{df}{dx}, \frac{d^2f}{dx^2}$	函数的**一阶和二阶导数**。若 $f(x) = x^2$，则 $\frac{df}{dx} = 2x$，$\frac{d^2f}{dx^2} = 2$。
f', f''	函数的**一阶和二阶导数**。若 $f(x) = x^2$，则 $f' = 2x$，$f'' = 2$。变量（非函数）上的标注也可以表示其他意思：x'，x'' 可以表示 x 的两个特定取值。

$\frac{\partial f}{\partial x}$, $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}$ 函数的**一阶和二阶偏导数**。若 $f(x, y)=x^2y$，则$\frac{\partial f}{\partial x}=2xy$，$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}=2x$。

y_{-i} 去掉元素 i 后的集合 y。若 $y = \{y_1, y_2, y_3\}$，则 $y_{-2} = \{y_1, y_3\}$。

Max(x,y) x 和 y 中的**较大值**。Max(8，24) = 24。

Min(x,y) x 和 y 中的**最小值**。Min(5，3) = 3。

$\lceil x \rceil$ x 的**整数上界**。与一个数最近的最大整数。$\lceil 4.2 \rceil = 5$。该符号在经济学中不常见。

475 $\lfloor x \rfloor$ x 的**整数下界**。与一个数最近的最小整数。$\lfloor 6.9 \rfloor = 6$。该符号在经济学中不常见。

Sup X 集合 X 的**上确界(最小上界)**。若 $X = \{x \mid 0 \leqslant x < 1\ 000\}$，则 Sup $X = 1\ 000$。上确界之所以重要，就是因为有时最大值不存在。

Inf X 集合 X 的**下确界(最大下界)**。若 $X = \{x \mid 0 \leqslant x < 1\ 000\}$，则 Inf $X = 0$。

argmax **最大化**一个函数的**最优解**。若 $e^* = \text{argmax}\ EU(e)$，则 e^* 就是最大化函数 $EU(e)$ 的 e 的值。$f(x) = x - x^2$ 的最优解是 1/2。

Maximum 函数所取的**最大值**。对于 $x \geqslant 0$，Maximum$(x - x^2) = 1/4$(在 $x = 0$ 处)。

Minimum 函数所取的**最小值**。Minimum$(-5 + x^2) = -5$(在 $x = 0$ 处)。

*A.2 希腊字母

A	α	阿尔法	N	ν	纽
B	β	贝塔	Ξ	ξ	克西
Γ	γ	伽马	O	o	奥密克戎
Δ	δ	德尔塔	Π	π	派
E	ϵ or ε	伊普西龙	P	ρ	肉
Z	ζ	截塔	Σ	σ	西格马
H	η	艾塔	T	τ	套
Θ	θ	西塔	Υ	υ	宇普西龙
I	τ	约塔	Φ	φ	佛爱
K	κ	卡帕	X	χ	西
Λ	λ	兰布达	Ψ	ψ	普西
M	μ	缪	Ω	ω	欧米伽

*A.3　术语表

几乎总是（almost always）　见**一般地**。

年金（annuity）　无风险证券在给定年限内每年都会支付一笔等额的款项，按照惯例，这笔钱通常在年底支付。

闭集（closed）　在 $\mathbf{R}^n$ 中的闭集都包括其边界点。集合 $\{x: 0\leqslant x\leqslant 1\ 000\}$ 就是闭集。

组合（combination）　从 a 个元素的集合中取出 b 个元素组成无序集合的个数，记为 $\binom{a}{b}=\frac{a!}{b!(a-b)!}$。如果我们从集合 $A=\{w, x, y, z\}$ 中任取两个元素组成集合，则可能组成的集合有 $\{w, x\}$，$\{w, y\}$，$\{w, z\}$，$\{x, y\}$，$\{x, z\}$，$\{y, z\}$。从而 $\binom{4}{2}=\frac{4!}{2!(4-2)!}=24/4=6$。（有序排列见**排列**。）

紧集（compact）　若在 $\mathbf{R}^n$ 中的集合 X 是闭的且有界的，则 X 是紧的。当然超出欧氏（Euclidean）空间，一个集合是闭的且有界的并不能保证紧性。

完备度量空间（complete metric space）　一个度量空间包括所有可能的柯西序列。所有的紧度量空间和所有的欧氏空间都是完备的。

凹函数（concave function）　如果连续函数 $f(x)$ 是定义在区间 X 上的，且对于 X 中的所有元素 w 和 z 都有 $f(0.5w+0.5z)\geqslant 0.5f(w)+0.5f(z)$，那么称函数 $f(x)$为凹函数。若 f 是从 $\mathbf{R}$ 到 $\mathbf{R}$ 的映射，且 f 是可导的凹函数，则有 $f''\leqslant 0$。见图 A—1。 476

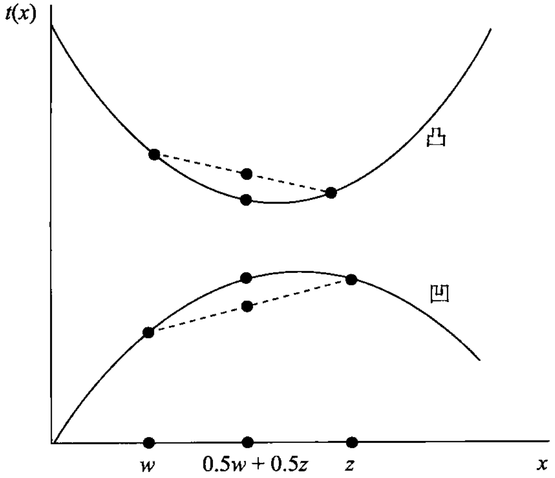


图 A—1　凹性和凸性

连续函数（continuous function） 令 $d(x, y)$ 表示点 x 和 y 之间的距离。如果对于任意 $\varepsilon>0$，都存在一个数 $\delta(\varepsilon)>0$，使得由 $d(x,y)<\delta(\varepsilon)$ 可以推出 $d(f(x), f(y))<\varepsilon$，那么称函数 f 为连续函数。

连续统（continuum） 连续统是实线上的一段闭区域，或是可以被一一映射到这一段区域上的一个集合。

压缩（contraction） 若存在数 $c<1$，使得对于空间 X 的度量 d 来说，有

$$d(f(x),f(y))\leqslant c\times d(x,y),\ \forall x,y\in X \tag{A.1}$$

则称映射 $f(x)$ 为一个压缩。

凸函数（convex function） 如果连续函数 $f(x)$ 是定义在区间 X 上的，且对于 X 中的所有元素 w 和 z 都有 $f(0.5w+0.5z)\leqslant 0.5f(w)+0.5f(z)$，那么称函数 $f(x)$ 为凸函数。见图 A—1。凸函数与凸集这两个概念之间联系不大。

凸集（convex set） 如果集合 X 是凸的，那么任取其中的两点 w 和 z 以及实数 $t(0\leqslant t\leqslant 1)$，$tw+(1-t)z$ 仍在 X 中。

对应（correspondence） 对应就是把一个点映射到一个或多个点上的映射。它与函数是不同的，后者只是一到一的映射。

定义域（domain） 映射的定义域是指映射进行变换的元素的集合，有些类似于可以随意变更的土地一类的东西。（映射从定义域变换到值域上。）

函数（function） 若 f 将 X 中的每一个点都映射到 Y 中的正好一个点上，则 f 称为一个函数。图 A—1 中的两个映射是函数，图 A—2 中的映射则不是。

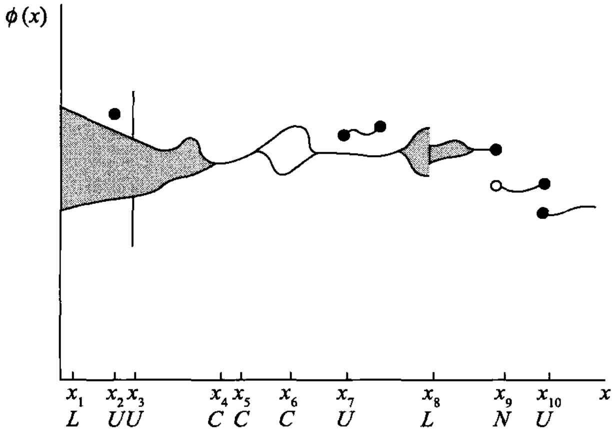


图 A—2 上半连续

说明：只是上半连续的点，用 U 表示；只是下半连续的点用 L 表示；既上半连续又下半连续的点用 C 表示；上下半都不连续的点用 N 表示。

一般地（generically） 若某一论断在集合 X 上通常是对的，“除了在具有零测度的集合上”，或者“几乎总是”，则它只是在具有下述性质的点 Z 的子集上是错误的。如果使用支撑 X 的密度函数来随机选择点，那么选中 Z 中某一点的概率是零。这意味着如果该论断在 $z\in \mathbf{R}^n$ 上是错误的且 z 上加了一随机量 ε 来产生扰动，则该论断在 $z+\varepsilon$ 上正确的概率为 1。

分部积分（integration by parts） 是为了易于求解而将积分重新排列的技巧，利用公式 477

$$\int_{z=a}^{b} g(z)h'(z)\mathrm{d}z = g(z)h(z)\Big|_{z=a}^{b} - \int_{z=a}^{b} h(z)g'(z)\mathrm{d}z \tag{A.2}$$

应用链式求导法则对 $g(z)h(z)$ 微分，对等式两边积分并重新排列可导出上式。

拉格朗日乘数（Lagrange multiplier） 拉格朗日乘数就是在最优化问题中放松约束的边际价值。若问题是 $\{\underset{x}{\text{Maximize}}\, x^2 \text{ s. t. } x\leqslant 5\}$，则 $\lambda=2x^*=10$。

格（lattice） 格是一个局部有序集（已定义了排序≥）。对于任意两个元素 a 和 b 来说，值 $\inf(a, b)$ 和 $\sup(a, b)$ 也都在集合中。如果格的每一子集的极大值和极小值都在格中，则称格是**完备**（complete）的。

莱布尼茨积分（Leibniz's integral rule） 这是在积分符号下的微分法则

$$\frac{\partial}{\partial z}\int_{a(z)}^{b(z)} f(x,z)\mathrm{d}x = f(b(z),z)\,\frac{\partial b(z)}{\partial z} - f(a(z),z)\,\frac{\partial a(z)}{\partial z} + \int_{a(z)}^{b(z)} \frac{\partial f(x,z)}{\partial z}\mathrm{d}x \tag{A.3}$$

序列（list 或 n-Tuple） 集合中有 n 个元素且元素的位置是有序的。（上，下，上）是一个序列，但（下，上，上）和（上，下）是不同的序列。（见**集合**和**多重集合**。）

下半连续对应（lower semicontinuous correspondence） 若

$$x_n\rightarrow x_0,\ y_0\in\phi(x_0)，\text{可以推出}\ \exists\, y_n\in\phi(x_n)\text{使得}\ y_n\rightarrow y_0 \tag{A.4}$$

则称对应 ϕ 在点 x_0 是下半连续的。这意味着对应于每一趋向的 x_0 的 x 序列，都有一个 y 序列也趋向 x_0 的映像。见图 A—2。这一概念不如上半连续重要。 478

最优化目标（maximand） 最优化目标是最大化的对象。在最优化问题“选择 x 以最大化 $f(x, \theta)$”中，最优化目标是 f。

均值不变展形（mean-preserving spread） 见以下关于**风险**的讨论。

零测度（measure zero） 见**一般地**。

度量（metric） 定义在集合 X 的元素上的函数 $d(w, z)$ 是一个度量，要满足以下几个条件：(1) 若 $w \neq z$，则 $d(w, z) > 0$；若 $w = z$，则 $d(w, z) = 0$；(2) $d(w, z) = d(z, w)$；(3) 对于 $x, y, z \in X$，有 $d(w, z) \leqslant d(w, y) + d(y, z)$。

度量空间（metric space） 若集合 X 所具有的度量定义了它的任意两个元素之间的距离，则称集合 X 为一个度量空间。

多重集合（multiset） 在一个包含 n 个元素的集合中，它的元素在序列中的位置不重要，但它的重数很重要。（上，下，上）是一个多重集合，（下，上，上）是与之相同的多重集合，但（上，下）是不同的多重集合。见**序列**和**集合**。

***n* 维序列**（*n*-Tuple 或 Tuple） 见**序列**。

一一对应（one-to-one） 如果集合 X 中的每个点都被映射到集合 Y 中的一个点，那么称映射 $f: X \to Y$ 为一一对应的，所以 $x_1 \neq x_2$ 表明 $f(x_1) \neq f(x_2)$。例如 $f(x) = 2x^{*}$ 将 $X = [0, 1]$ 一一对应到 $Y = [0, 2]$ 上。

到上（onto） 如果对于 Y 中的每一个点都有 X 中的某个点映射到其上，那么称映射 $f: X \to Y$ 为到 Y 上的映射。例如 $f(x) = x^2$ 是将 $X = [-1, 1]$ 映射到 $Y = [0, 1]$ 上。

开集（open） 在空间 $\mathbf{R}^n$ 中，开集就是不包括其边界点的集合。集合 $\{x : 0 \leqslant x < 1\ 000\}$ 就是开集（虽然它包含 0** 个边界点）。在更多的一般空间中，开集就是一个拓扑的一部分。

排列（permutation） 从 a 个元素的集合中取出 b 个元素组成有序集合的个数，它等于 $\frac{a!}{(a-b)!}$。如果我们从集合 $A = \{w, x, y, z\}$ 中任取两个元素组成集合，则可能的集合有 $\{w, x\}$，$\{x, w\}$，$\{w, y\}$，$\{y, w\}$，$\{w, z\}$，$\{z, w\}$，$\{x, y\}$，$\{y, x\}$，$\{x, z\}$，$\{z, x\}$，$\{y, z\}$，$\{z, y\}$。从而这些集合的个数为 $\frac{4!}{(4-2)!} = \frac{24}{2} = 12$。（无序组合见**组合**。）

永续年金（perpetuity） 无风险证券每年都会支付一笔等额的款项，按照惯例，这笔钱通常在年底支付。

拟凹（quasi-concave） 如果对于 $w \neq z$，有 $f(0.5w + 0.5z) > \min[f(w), f(z)]$，或者等价地，若集合 $\{x \in X \mid f(x) > b\}$ 对于任意 b 都是凹的，则称连

---

* 原书为 $f(x) = x/2$，疑误。——译者注

** 原书为 1，疑误。——译者注

续函数 $f(x)$ 为拟凹的。每一个凹函数都是拟凹的，但并非每一个拟凹函数都是凹的。

拟线性效用（quasilinear utility） 一个效用函数是变量的拟线性函数是指如果经过单调变换后，效用函数对 w 是线性的并且 w 与其他变量在效用函数中是分离的。$u(w, x)=w+\sqrt{x}$ 和 $u(w, x)=\log(w+\sqrt{x})$ 是拟线性函数，但 $u(w,x)=wx$ 和 $u(w, x)=\log(w)+\sqrt{x}$ 却不是。

值域（range） 一个映射的值域是通过映射得到的元素的集合，即通过计算结果得到的属性。（映射是将定义域变换到值域上。）

风险（risk） 见以下关于**风险**的讨论。

集合（set） 集合是对象的聚集，对象的序列位置与多重性是无关紧要的。{上，下}，{下，上} 以及 {上，下，下} 都是两元素的集合。见**序列**和**多重集合**。

随机占优（stochastic dominance） 见 A. 10 关于风险的讨论。 479

严格（strict） “严格”这个词在本书中出现的场合非常广泛。它指的是一种不以相等形式存在的关系，或者一种并非可以任意接近而不被违反的关系。若函数 f 是凹的且 $f'>0$，则 $f''\leqslant 0$，但若 f 是严格凹的，则 $f''<0$。“严格”的反义词是“弱的”。“强”有时与“严格”是同义词。

超模的（supermodular） 见 A. 6 关于超模性的讨论。

支撑集（support） 概率分布 $F(x)$ 的支撑就是使得密度是正的 x 的值的集合的闭包。如果在 0 和 20 之间的每一产出都有正的概率密度，而任何其他产出都没有，那么产出分布的闭包就是 [0，20]。

拓扑（topology） 除了指数学中的一个领域以外，拓扑指的是被称为“开集”的一个空间的子集的集合。它包括：（1）全空间和空集；（2）任意有限个开集的交集；（3）任意个开集的并集。在度量空间中，度量通过定义开集来“诱导”拓扑。将一个拓扑加在一个空间之上就好比定义那些元素彼此之间的接近程度。这对于空间 $\mathbf{R}^n$ 来说易如反掌，但是并非对于每一个空间来说都是如此（比如，对于由函数或者博弈树所组成的空间）。

上半连续对应（upper semicontinuous correspondence） 若

$$x_n \to x_0,\ y_n \in \phi(x_n),\ y_n \to y_0,\ \text{可以推出}\ y_0 \in \phi(x_0) \tag{A. 5}$$

则称对应 $\phi: X \to Y$ 在点 x_0 是上半连续的。这意味着 $\phi(x)$ 中的点所组成的序列也收敛于 $\phi(x)$ 中的一点。见图 A—2。另一种定义方式只有当 Y 是紧集时才适用，它是说当集合 $\{x, \phi(x)\}$ 是闭的时候 ϕ 是上半连续的。

向量（vector） 向量就是一个具有特定结构的序列（一个有序集合），在

此我不仔细讨论，但举例来说，一个实数序列，即 $\mathbf{R}^n$ 中的一点就满足该定义。点 {2.5，3，−4} 就是 $\mathbf{R}^3$ 中的一个向量。

弱（weak）“弱”这个词在本书中出现的场合非常广泛。它指的是一种可以以相等形式存在的关系，或者是一种处于临界位置的关系。若函数 f 是凹的且 $f'>0$，则 $f''\leqslant 0$，但是说 f 是弱凹的，尽管从技术上讲并未增加什么含义，但它强调了在一些或全部参数下 $f''=0$。“弱”是“严格”或“强”的反义词。

*A.4 公式与函数

$$\log(xy)=\log(x)+\log(y)$$
$$\log(x^2)=2\log(x)$$
$$a^x=(e^{\log(a)})^x$$
$$e^{rt}=(e^r)^t$$
$$e^{a+b}=e^a e^b$$
$$a>b \Rightarrow ka<kb\text{，如果 } k<0$$

二次方程：令 $ax^2+bx+c=0$，则 $x=-b\pm\sqrt{b^2-4ac}/2a$。

导 数

$f(x)$	$f'(x)$
x^a	ax^{a-1}
$\frac{1}{x}$	$-\frac{1}{x^2}$
$\frac{1}{x^2}$	$-\frac{2}{x^3}$
e^x	e^x
e^{rx}	re^{rx}
$\log(x)$	$\frac{1}{x}$
$\log(ax)$	$\frac{1}{ax}a=\frac{1}{x}$
a^x	$a^x\log(a)$
$f(g(x))$	$f'(g(x))g'(x)$

也可参见劳伦斯·斯伯克（Lawrence Spector）在 2006 年发表的《积分方法》（“An Approach to Calculus”），http://www.themathpage.com/aCalc/exponential.htm。

表 A—1　　　　　　　　　　　　**常用函数**

$f(x)$	$f'(x)$	$f''(x)$	$x>0$ 时的斜率	曲率
$\log(x)$	$\frac{1}{x}$	$-\frac{1}{x^2}$	递增	凹函数
$\sqrt{x}$	$\frac{1}{2\sqrt{x}}$	$-\frac{1}{4x^{(3/2)}}$	递增	凹函数
x^2	$2x$	2	递增	凸函数
$\frac{1}{x}$	$-\frac{1}{x^2}$	$\frac{2}{x^3}$	递减	凸函数
$7-x^2$	$-2x$	-2	递减	凹函数
$7x-x^2$	$7-2x$	-2	递增/递减	凹函数

导数的符号会使人眼花缭乱，$f(x)=x^2$ 以递增的速度增加，但函数 $f(x)=1/x$ 却以递减的速度减少，虽然二者的二阶导数都是大于零的。

行列式 481

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21}$$

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22}a_{33} - a_{11}a_{23}a_{32} + a_{12}a_{23}a_{31} - a_{12}a_{21}a_{33} + a_{13}a_{21}a_{32} - a_{13}a_{22}a_{31}$$

*A.5　概率分布

关于概率分布及其特征的全面论述是琼森和霍茨所著的三卷本专著（Johnson & Kotz，1970）。在这里列举几个重要的分布。对于连续分布而言，**概率分布**（probability distribution）等价于**累积密度函数**（cumulative density function）。如果分布是连续的，则任何单值只有无穷小的概率（除非有奇异点概率），所以我们讨论在一个区间上的概率值或单值的概率**密度**（density）而非单个概率值。

指数分布

指数分布的支撑为整个非负实数集，它的密度函数为

$$f(x)=\frac{e^{-x/\lambda}}{\lambda} \tag{A.6}$$

累积密度函数为

$$F(x)=1-e^{-x/\lambda} \tag{A.7}$$

均匀分布

一个变量是均匀分布于支撑集 X 上，如果 X 上的每一点都有相同的概率。如果支撑集合是 $[\alpha, \beta]$，均值是 $(\alpha+\beta)/2$，则密度函数是

$$f(x)=\begin{cases}0, & x<\alpha \\ \dfrac{1}{\beta-\alpha}, & \alpha\leqslant x\leqslant\beta \\ 0, & x>\beta\end{cases} \tag{A.8}$$

累积密度函数为

$$F(x)=\begin{cases}0, & x<\alpha \\ \dfrac{x-\alpha}{\beta-\alpha}, & \alpha\leqslant x\leqslant\beta \\ 1, & x>\beta\end{cases} \tag{A.9}$$

正态分布

557

482 正态分布是一种双参数单峰分布，它的支撑为整条实线。均值为 μ，方差为 σ^2 的密度函数为

数学附录

$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \tag{A.10}$$

累积密度函数为密度函数的积分，常表示为 $\Phi(x)$，这从代数上来说是很难表示出来的。你可以通过电子数据表程序或者如下网站查找其取值：http://www.math2.org/math/stat/distributions/z-dist.htm。

对数分布

如果 $\log(x)$ 服从正态分布，则称 x 服从对数分布。它是一个有偏的分布，其支撑集是正实数，因为负数的对数是没有意义的。它的均值是 $e^{\sigma^2/2}$。

*A.6 超模性

假定博弈中存在 N 个参与人（以下标 i 与 j 表示），并且参与人 i 的策略由 s^i 个元素组成（以下标 s 与 t 来表示），所以他的策略为向量 $y^i=(y_1^i$，…，

$y^i_{\bar{s}^i}$)。令他的策略集合为 S^i，支付函数为 $\pi^i(y^i, y^{-i}; z)$，其中 z 表示博弈的一个固定参数。如果下面五个条件得到满足，我们称一个博弈为**超模博弈**（supermodular game）：

（A1）S^i 为一完备格（complete lattice）。

（A2）$\pi^i: S \to R \cup \{-\infty\}$ 关于 y^i 为有序半连续的（order semicontinuous）（当 y^{-i} 固定时），并且存在有限的上界。

（A3）对固定的 y^{-i}，π^i 关于 y^i 为超模性的，即对 S 中的所有策略组合 y 与 y'，有

$$\pi^i(y)+\pi^i(y') \leqslant \pi^i(\sup\{y,y'\})+\pi^i(\inf\{y,y'\}) \tag{A. 11}$$

（A4）π^i 关于 y^i 与 y^{-i} 的差分为递增的。对所有的 $y^i \geqslant y^{i'}$，差分 $\pi^i(y^i, y^{-i})-\pi^i(y^{i'}, y^{-i})$ 关于 y^{-i} 为非减的。

另外，第五个假设有时很有用。

（A5）对固定的 y^{-i}，π^i 关于 y^i 与 z 的差分为递增的。对于所有的 $y^i \geqslant y^{i'}$，差分 $\pi^i(y^i, y^{-i}, z)-\pi^i(y^{i'}, y^{-i}, z)$ 关于 z 为非减的。

平滑超模性（smooth supermodularity）需要满足的条件为：

（A1′）策略集为 $R^{\bar{s}^i}$ 中的一个区间：

$$S^i=[\underline{y^i}, \overline{y^i}] \tag{A. 12}$$

（A2′）π^i 在 S^i 上为二阶连续可微的。

（A3′）（超模性）提高参与人 i 的策略集中的一个元素不会减少任何其他元素的净边际收益。对所有的 i 以及满足 $1 \leqslant s < t \leqslant \bar{s}^i$ 的 s 与 t，有

$$\frac{\partial^2 \pi^i}{\partial y^i_s \partial y^i_t} \geqslant 0 \tag{A. 13}$$

（A4′）（关于自己与他人策略的递增差分）当提高参与人 i 的策略的一个元素时，提高参与人 j 的策略的任何元素所带来的净边际收益不会随之减少。对所有 $i \neq j$，以及满足 $1 \leqslant s \leqslant \bar{s}^i$ 和 $1 \leqslant t \leqslant \bar{s}^i$ 的 s 和 t，有

$$\frac{\partial^2 \pi^i}{\partial y^i_s \partial y^i_t} \geqslant 0 \tag{A. 14}$$

第五个假设变为：

（A5′）（关于自己策略与参数的递增差分）提高参数 z 不会减少参与人 i 的策略的任何元素的净边际收益，即对所有的 i，以及满足 $1 \leqslant s \leqslant \bar{s}^i$ 的 s，有

$$\frac{\partial^2 \pi^i}{\partial y^i_s \partial z} \geqslant 0 \tag{A. 15}$$

定理 A.1 如果博弈为超模性的，则存在最大与最小的纯策略纳什均衡。

定理 A.1 的有用之处在于它表明了：(1) 存在纯策略纳什均衡；(2) 如果至少存在两个均衡（注意最大与最小均衡或许是相同的策略组合），则它们中的两个可以根据每个参与人均衡策略的元素大小来排序。

定理 A.2 如果博弈为超模性的并且假定（A5′）得以满足，则最大与最小的均衡为参数 z 的非减函数。

定理 A.3 如果一个博弈为超模性的，则对于每个参与人 n，存在一个最大与最小的序列非劣势策略，并且这两个策略均为纯策略。

定理 A.4 在超模博弈中，令$\underline{y}^i$表示参与人 i 的策略集 S^i 中的最小元素。令 y^* 与 $y^{*\prime}$表示两个均衡，并且 $y^* \geqslant y^{*\prime}$。因此 y 是"大"的均衡，则有：

(1) 如果 $\pi^i(\underline{y}^i, y^{-i})$ 关于 y^{-i}是递增的，则 $\pi^i(y^*) \geqslant \pi^i(y^{*\prime})$。

(2) 如果 π^i $(\underline{y}^i, y^{-i})$ 关于 y^{-i}是递减的，则 $\pi^i(y^*) \leqslant \pi^i(y^{*\prime})$。

(3) 如果参与人的子集 N_1 满足 (1) 中的条件，并且 N_1 的余集满足 (2) 中的条件，则大均衡 y^* 对 N_1 中的参与人为最好的，对其他参与人为最坏的均衡；小均衡 $y^{*\prime}$对 N_1 中的参与人为最坏的均衡，对其他参与人为最好的均衡。

定理取自米尔格罗姆和罗伯茨（Milgrom & Roberts，1990）。定理 A.1 是他们对定理 5 的推论。定理 A.2 是他们的定理 6 以及推论。定理 A.3 是他
484 们的定理 5，定理 A.4 是他们的定理 7。关于超模性的更多内容，请参见 Milgrom & Roberts（1990），或者是 Fudenberg & Tirole（1991，pp.489－497），或者维韦斯在 2005 年的评述文章。有关数学方面的评论，可参见托普克斯（Topkis）在 1998 年出版的《超模性与互补性》（*Supermodularity and Complementarity*）。

*A.7 不动点定理

不动点定理表明众多的映射将一个集合变换到另一个集合上时，至少有一个点被映射到自身。著名的不动点定理是布劳威尔定理，见图 A—3。我将应用 Mas-Colell，Whinston & Green（1994）第 952 页的公式。

布劳威尔不动点定理

假设集合 A 是R^N 中非空的紧凸集；$f: A \rightarrow A$ 是从 A 到自身的连续函数。（"紧"在欧氏空间中意味着有界闭集。）从而 f 具有一个不动点，即在 A

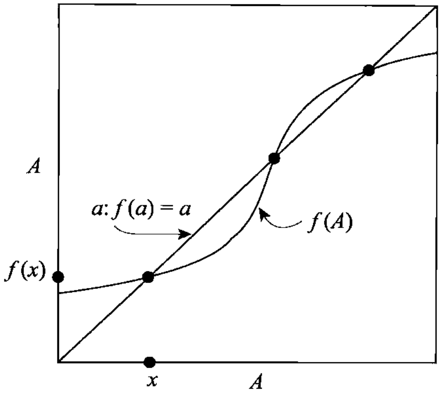


图 A—3 有三个不动点的映射

中有一个 x 满足 $x=f(x)$。

不动点定理的重要应用就是，一个均衡就是一个不动点。考虑均衡价格。令 p 是 N 维空间中每种商品价格构成的一个点。令 P 表示所有可能价格组成的集合。如果我们限制 P 是由有限价格组成，则它是紧凸集。经济中的参与人观察 p 并决定消费和产出。该决定将 p 变换为 $f(p)$。一个均衡就是一个点 p^* 满足 $p^*=f(p^*)$。如果你能证明 f 是连续的，你就能证明 p^* 是存在的。

这对纳什均衡也成立。令 s 是 N 维空间中每个参与人的策略组成的一个点，即是一个策略组合。令 S 表示所有可能策略组合组成的集合。如果策略集是有界闭集且允许混合策略（保证凸性），则 S 是紧凸集。每个策略组合 s 使每个参与人通过选择他的最优反应函数 $f(s)$ 作出反应。一个纳什均衡 s^* 满足 $f(s^*)=s^*$。如果支付函数是连续的，你就能证明 f 是连续的，从而就能证明 s^* 是存在的。

布劳威尔不动点定理非常有用，并直观地表示了不动点定理，但要证明 485
一般均衡中均衡价格的存在以及博弈论中纳什均衡的存在性需要角谷（Kakutani）不动点定理。这是因为所涉及的映射不是一一对应的函数，而是一对多点的对应。在一般均衡中，一家企业在生产众多数量的产出之间是不相关的。在博弈论中，一个参与人对另一个参与人的策略可能有两个最优反应。

角谷不动点定理（Kakutani，1941）

假设集合 A 是 R^N 中非空的紧凸集；$f: A \rightarrow A$ 是从 A 到自身的上半连续对应。对每个 x，集合 $f(x)$ 是非空的凸集。那么 $f(x)$ 具有一个不动点，即在 A 中有一个 x 满足 $x=f(x)$。

其他类型的映射有与之对应的不动点定理，如函数集合到自身的映射。

决定应用何种定理需要仔细甄别策略集合的数学特征以及最优反应函数的平滑性。

*A.8 一般属性

假设空间 X 由实线上 0 到 100 的区间 [0, 100] 组成，函数 f 使得 $f(x)=3$，但不满足 $f(15)=5$。我们可选择如下任意一种表述：

1. 除了在一个零测度集上外 $f(x)=3$。
2. 除了在一个空集上外 $f(x)=3$。
3. 一般地，$f(x)=3$。
4. $f(x)=3$ 几乎总是成立。
5. 满足 $f(x)=3$ 的 x 组成的集合在 X 上是稠密的。
6. 满足 $f(x)=3$ 的 x 组成的集合具有全测度。

如果应用一个连续随机密度函数选择参数，则 $f(x)$ 以 1 的概率等于 3，$f(x)$ 的其他取值是特殊值。如果对一个的起始值添加一个随机扰动项 ε，则 $f(x+\varepsilon)$ 以 1 的概率等于 3。因此，你可以认为 $f(x)=3$ 总是成立的，除了在一些特殊的 x 点 $f(x)$ 取特殊值 15。

上述结论依赖于对空间 X 的定义。如果我们取从 0 到 100 之间的整数，即 0，1，2，…，100 组成的空间 Y，那么“除了在一个零测度集上外，$f(x)=3$”是不正确的。相反如果 x 是随机选取的，当 $x=15$ 时，$f(x)=5$ 的概率为 1/101。

如果空间 X 不是一个有限区间，“具有零测度的集合”的概念将较难应用。在本书的注释中我没有定义这个概念而只是应用它。当然对你而言这已
486 足够。在现实分析的课程中将给出定义。因为有了“闭”以及“有界”的概念，即使在经济应用中也会因为无限空间以及空间函数、博弈树分支或其他主题使问题变得复杂。

现在我们将这些思想应用于博弈论，下面是一个应用一般性的定理的例子。

定理 A.5 一般地，所有完美信息博弈都有一个唯一的子博弈完美均衡。

证明： 在一个完美信息博弈中，每个参与者不是同时行动而是顺序行动组成一个博弈树。由于博弈是有限的，博弈树中每一条路径均通向一个最终节点。对每一个最终节点，考虑它之前的决策节点。由于博弈是有限的，参与者在此处的决策有有限数 N 个选择。这些选择的支付记为 (P_1，P_2，…，P_N)。这个支付集中有唯一的最大值，因为一般地没有两个支付正好相等。(如果有，你可以对支付做一点小小的扰动，它们则以 1 的概率不再相等，因

此，具有相同支付的博弈具有零测度。）参与者将选择最大支付的行动。既然它们是在博弈结束时子博弈的唯一纳什均衡，则每个子博弈完美均衡必须满足参与者选择这些行动。

接下来，考虑倒数第二步的决策节点。参与者在该节点作决策时有有限数量的选择，应用最后行动的最优选择所决定的支付，他可以找到具有最大支付的行动。子博弈完美均衡必须满足这些行动。重复以上程序，直到你达到博弈的第一步行动为止。参与者将从他的有限行动中找到能获得最大支付的行动。每个参与者在每个节点都有一个最优行动选择，所以均衡将是唯一的。证毕。

将一般性引入定理中，是因为我们忽略了定理成立的一种特殊情况——博弈具有相同支付。无论它们是真正特殊还是只是不依赖于上下文。

*A.9 贴 现

现实中采取行动的模型必须设定如果所获得的支付和收益要压后实现，会不会减少价值，即它们是不是贴现的。贴现由贴现率或贴现因子来度量。

贴现率 r 是指 1 单位价值由于推迟一期收到而需要补偿的额外部分。

贴现因子 δ 是指与当前的后一期所收到的 1 单位价值等价的当期价值。

贴现率是对利率的模拟，在一些模型中利率决定贴现率。贴现因子与贴现率是相同的概念，$\delta=1/(1+r)$。模型采用 δ 还是 r 主要是出于符号的方便。没有贴现等价于 $r=0$ 或 $\delta=1$，因此零贴现是一种特殊情形。

模型中是否包括贴现涉及两个问题。一个是增加的复杂性是否引起了结果的变化或结果没有明显的变化。第二，一个特殊的问题是，模型中出现的事件在现实中是否会发生，从而贴现是合适的。12.3 节的轮流出价博弈可以用这两种方式来解释。一种方式中参与人的出价和还价在一天中的早晨与傍晚作出，因此没有时间流逝。另一种方式中出价要经过一周的时间，因此在交易达成前的延期对参与人就非常重要。只有在第二种方式中贴现才是合适的。 487

贴现有两个重要的来源：时间偏好与博弈结束的概率，时间偏好率用 ρ 表示，每期博弈结束的概率用 θ 表示。通常假设 ρ 与 θ 是常数。如果它们两个都取值为 0，参与人并不在意他们的支付是现在还是 10 年之后得到。否则，一个参与人对现在的 $x/(1+\rho)$ 与一期之后确保支付的 x 之间是无差异的。博弈在下一期仍然继续并且支付能够真正实现的概率是 $1-\theta$，所以参与人在当前得到 $(1-\theta)x/(1+\rho)$ 与一期之后可能仍然继续的博弈的支付 x 之间是无差异的。从而贴现因子是：

$$\delta=\frac{1}{1+r}=\frac{1-\theta}{1+\rho} \tag{A.16}$$

表 A—2 是多种支付现金流价值暗含的贴现的汇总。我们不深究它们是如何得到的，但它们都来自在将来支付的 1 美元相当于现在支付的 δ 美元这一基本的现实，连续时间模型通常指支付利率而非总和，所以贴现因子不是一个非常有用的概念。但除了支付是连续复合的以外，它与贴现在离散时间上的作用是相同的，一个完整的解释请参见金融教材（如 Copeland & Weston (1988, Appendix A))。

表 A—2　　　　　　　　贴　现

488

支付流	贴现值	
	符号（贴现率）	符号（贴现因子）
一期期末的 x	$\frac{x}{1+r}$	δx
永续年金每期期末的 x	$\frac{x}{r}$	$\frac{\delta x}{1-\delta}$
永续年金每期期初的 x	$x+\frac{x}{r}$	$\frac{x}{1-\delta}$
直到时期 T 每期期末的 x（第一种公式）	$\sum_{t=1}^{T}\frac{x}{(1+r)^t}$	$\sum_{t=1}^{T}\delta^t x$
直到时期 T 每期期末的 x（第二种公式）	$\frac{x}{r}\left(1-\frac{1}{(1+r)^T}\right)$	$\frac{\delta x}{1-\delta}(1-\delta^T)$
连续时间 t 时的 x	xe^{-rt}	—
连续时间中直到 T 期每期 x 的现金流	$\int_0^T xe^{-rt}\,dt$	—
连续时间中永续年金每期 x 的现金流	$\frac{x}{r}$	—

牢记计算一个时间段的年金的公式的方法是，应用计算永续年金在将来特定时间段的支付的公式。在每年年末支付为 x 的现金流相当于 x/r。在时期 T 期末支付为 Y 的现值是 $Y/(1+r)^T$。因此，如果在时期 T 期初你必须每年年末支付 x 的永续年金，在每年年末，该支付的现值是 $(x/r)\left(\frac{1}{1+r}\right)^T$。另一种方法是，从现在开始每年支付现金流直到时期 T 与拥有一只年金但必须在时期 T 放弃该年金是等同的。由此产生的现值为 $(x/r)\left(1-\left(\frac{1}{1+r}\right)^T\right)$，这是在表 A—2 中给出的年金的第二种计算公式。图 A—4 表示了计算该年金的方法，并且也说明了从时期 S 开始到时期 T 结束的收入流的价值是如何计算的。

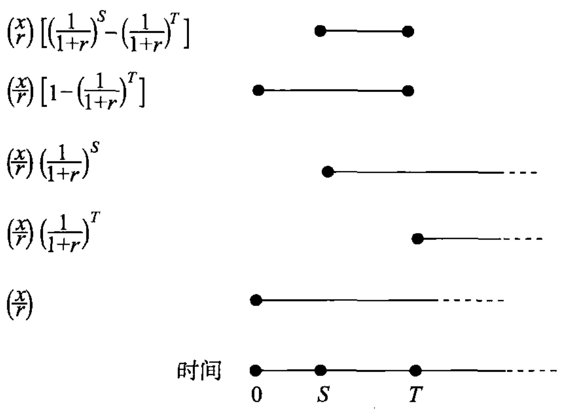


图 A—4 贴现

在本书的动态博弈中不考虑贴现，但它在无限重复博弈中非常重要，我们在 5.2 节作了进一步讨论。

*A. 10 风 险

如果参与人的效用函数对于货币而言是严格凹的，则我们称该参与人是**风险规避的**（risk-averse）。这意味着货币对于他的边际效应是递减的。如果参与人的效用函数对于货币而言是线性的，则我们称该参与人是**风险中性的**（risk-neutral）。加上"对货币而言"这一修饰语是因为效用也可以是其他变 489
量的函数，例如努力。

我们在以下条件下称概率分布 F 在**一阶随机优势**（first-order stochastic dominance）的意义上**优于**（dominate）概率分布 G，即若对 G 来说变量取值小于 x 的累积概率大于对 F 来说变量取值小于 x 的累积概率，即对于任意的 x，有

$$F(x) \leqslant G(x) \tag{A.17}$$

且至少对于 x 的一个值而言不等式（A.17）严格成立。若在累积分布 G 时 $G(x)$ 所围的面积大于在累积分布 F 时 $F(x)$ 所围的面积，则称概率分布 F 在**二阶随机优势**（second-order stochastic dominance）的意义上优于概率分布 G，即对于任意 x，有

$$\int_{-\infty}^{x} F(y)\mathrm{d}y \leqslant \int_{-\infty}^{x} G(y)\mathrm{d}y \tag{A.18}$$

且至少对于 x 的一个值而言不等式（A.18）严格成立。等价地，若对所有的函数 U，有

$$\int_{-\infty}^{+\infty} U(x)F(x) > \int_{-\infty}^{+\infty} U(x)G(x) \tag{A.19}$$

则称 F 对于全体函数 U 而言优于 G；在一阶优势时要将 U 限定为增函数，在二阶优势时要将 U 限定为增的凹函数。

若 F 是一个一阶优势博弈，则全体参与人都会乐于接受。若 F 是一个二阶优势博弈，则全体风险规避的参与人都会乐于接受。若 F 是一个一阶优势博弈，则它也是一个二阶优势博弈，但反过来不成立。

米尔格罗姆（Milgrom，1981b）使用随机优势来仔细地定义了我们所说的**“好消息”**（good news）。令 θ 为一个参数，关于它的消息是以 x 或 y 的形式获得的，令效用是 θ 的增函数。如果对于每一非退化的可能的关系 $F(\theta)$ 的先验而言，后验 $F(\theta|x)$ 一阶优于 $F(\theta|y)$，则称 x 比 y 更令人高兴（是好消息）。

罗思柴尔德和斯蒂格利茨（Rothschild & Stiglitz，1970）说明了如何用等价于二阶优势的方法把两个博弈联系起来，其中最重要的一点就是**均值不变展形**（mean-preserving spread）。不太正式地讲，它就是一个将概率由分布的中间转移到分布的尾部的一个密度函数。更为正式地说，对于在 a_1，a_2，a_3 和 a_4 都有足够概率的离散分布来说，

一个**均值不变展形**就是由四个位置 $a_1<a_2<a_3<a_4$ 和四个概率 $\gamma_1\geqslant 0$，$\gamma_2\leqslant 0$，$\gamma_3\leqslant 0$，$\gamma_4\geqslant 0$ 所组成的集合，使得 $-\gamma_1=\gamma_2$，$\gamma_3=-\gamma_4$ 且 $\sum_i \gamma_i a_i=0$。

这一定义也可扩展到连续分布，它也可以被定义为先从中间抽取一点，再将它转移到两边去的做法。图 A—5（c）图示了该例子。参见 Rasmusen &

490

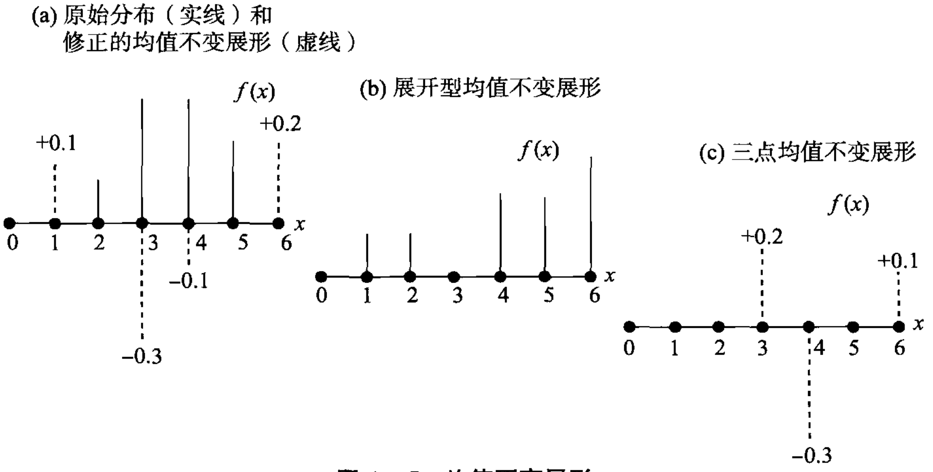


图 A—5 均值不变展形

Petrakis (1992)；Leshno, Levy & Spector (1997) 以及罗思柴尔德和斯蒂格利茨在开始时固定一个误差后的证明。

风险率

风险率对以上分析非常重要，假设对一个待售物品，购买者的价值具有密度函数 $f(v)$，在支撑集 $[\underline{v}, \overline{v}]$ 上的累积分布函数为 $F(v)$，风险率 $h(v)$ 定义为

$$h(v)=\frac{f(v)}{1-F(v)} \tag{A.20}$$

该公式表明 $h(v)$ 是 v 的概率密度函数，其分布截去了 $F(v)$ 的最低值，所以它的支撑集限制在 $[v, \overline{v}]$ 上。用经济学术语来说，$h(v)$ 是在给定我们知道价值至少等于 v 的情况下，估值等于 v 的概率密度。

对我们应用的大多数分布而言，风险率是递增的，包括均匀分布、正态分布、逻辑斯蒂分布、指数分布以及在它的支撑集上具有递增的概率密度的任何分布（参见 Bagnoli & Bergstrom (1994)）。图 A—6 展示了它们的三种情形。

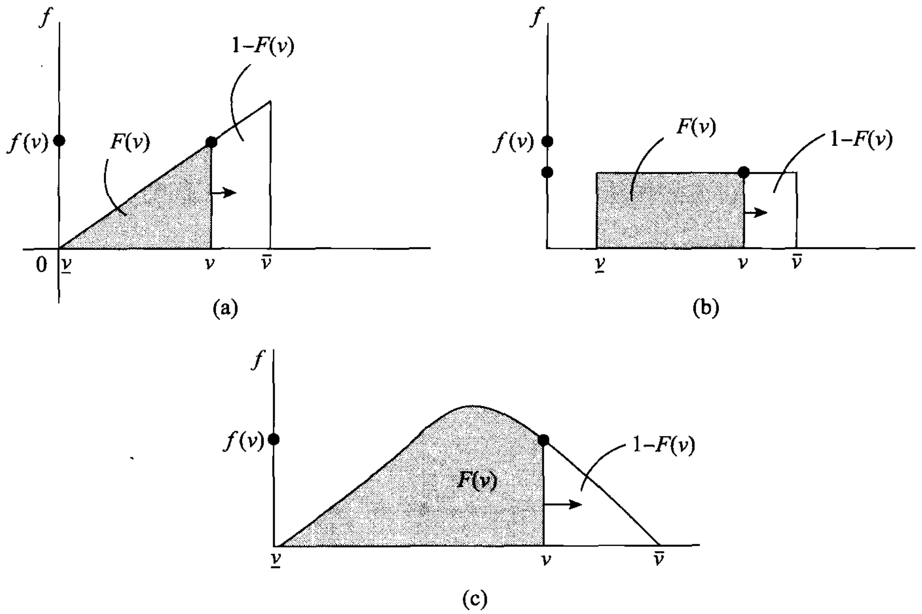


图 A—6 三种密度函数的递增风险率 $f(v)/[1-F(v)]$图解

参考文献和人名索引

文献在书中提及的具体页码都在文献后予以注明。第一次出版的日期（可能会与引用时的版本不同）跟在作者之后。一些出版物（如《华尔街日报》）在正文的脚注中引用过但没有出现在参考文献中。对于报纸，我都提供页数，但具体的页面可能会因为地区和时间的不同而不同。

Abreu, Dilip, David Pearce, & Ennio Stacchetti (1986) "Optimal Cartel Equilibria with Imperfect Monitoring," *The Journal of Economic Theory*, 39 (1): 251-269 (June 1986). **120**

Abreu, Dilip, David Pearce, & Ennio Stacchetti (1990) "Toward a Theory of Discounted Repeated Games, with Imperfect Monitoring," *Econometrica*, 58 (5): 1041-1064 (September 1990). **149**

Akerlof, George (1970) "The Market for Lemons: Quality Uncertainty and the Market Mechanism," *The Quarterly Journal of Economics*, 84 (3): 488-500 (August 1970). Reprinted in Rasmusen (2001). **249, 269, 270**

Akerlof, George (1980) "A Theory of Social Custom, of Which Unemployment May Be One Consequence," *The Quarterly Journal of Economics*, 94 (4): 749-775 (June 1980). **266**

Akerlof, George (1983) "Loyalty Filters," *The American Economic Review*, 73 (1): 54-63 (March 1983). **216, 266**

Akerlof, George & Janet Yellen, eds., (1986) *Efficiency Wage Models of*

the Labor Market, Cambridge: Cambridge University Press (1986). **236**

Alchian, Armen. See Klein et al. (1978).

Alchian, Armen & Harold Demsetz (1972) "Production, Information Costs and Economic Organization," *The American Economic Review*, 62 (5): 777 - 795 (December 1972). **201**

Alexeev, Michael & James Leitzel (1996) "Rent-Shrinking," *The Southern Economic Journal*, 62 (3): 620 - 626. **403**

Aliprantis, Charalambos & Subir Chakrabarti (1999) *Games and Decision-making*, Oxford: Oxford University Press (1999). **xxvi**

Anderson Lisa R. See Holt & Anderson (1996).

Antle, Rick & Abbie Smith (1986) "An Empirical Investigation of the Relative Performance Evaluation of Corporate Executives," *The Journal of Accounting Research*, 24 (1): 1 - 39 (Spring 1986). **236**

Arrow, Kenneth (1979) "The Property Rights Doctrine and Demand Revelation under Incomplete Information," in *Economics and Human Welfare*, ed. Michael Boskin, New York: Academic Press (1979). **381**

Arrow, Kenneth (1985) "The Economics of Agency," in *Principals and Agents: The Structure of Business*, pp. 37 - 51, John Pratt & Richard Zeckhauser, eds., Boston: Harvard Business School Press (1985). **183**

Athey, Susan & Philip A. Haile (2005) "Nonparametric Approaches to Auctions," *The Handbook of Econometrics*, *Vol. 6*, http: //athens. src. uchicago. edu/jenni/handbookv6/athey-haile-handbook. pdf. Elsevier (2005). **428**

Aumann, Robert (1964a) "Markets with a Continuum of Traders," *Econometrica*, 32: 39 - 50 (January/April 1964). **99**

Aumann, Robert (1964b) "Mixed and Behavior Strategies in Infinite Extensive Games," in *Annals of Mathematics Studies*, *No. 52*, M. Dresher, L. S. Shapley, and A. W. Tucker, eds., pp. 627 - 650, Princeton: Princeton University Press (1964). **99**

Aumann, Robert (1974) "Subjectivity and Correlation in Randomized Strategies," *The Journal of Mathematical Economics*, 1 (1): 67 - 96 (March 1974). **80**

Aumann, Robert (1976) "Agreeing to Disagree," *Annals of Statistics*, 4 (6): 1236 - 1239 (November 1976). **64**

Aumann, Robert (1981) "Survey of Repeated Games," in *Essays in Game Theory and Mathematical Economics in Honor of Oscar Morgenstern*, ed. Robert Aumann, Mannheim: Bibliographisches Institut (1981). **149**

Aumann, Robert (1987) "Correlated Equilibrium As an Expression of Bayesian Rationality," *Econometrica*, 55 (1): 1-18 (January 1987). **80**

Aumann, Robert (1997) "On the State of the Art in Game Theory," in *Understanding Strategic Interaction*, Wulf Albers, Werner Guth, Peter Hammerstein, Benny Moldovanu, & Eric van Damme, eds., Berlin: Springer-Verlag (1997). **22**

Aumann, Robert. See Hart (2005).

Aumann, Robert & Sergiu Hart (1992) *Handbook of Game Theory with Economic Applications*, New York: North-Holland (1992). **xxv, xxv, xxvii**

Axelrod, Robert (1984) *The Evolution of Cooperation*, New York: Basic Books (1984). **169, 175**

Axelrod, Robert & William Hamilton (1981) "The Evolution of Cooperation," *Science*, 211 (4489): 96 (March 1981). Reprinted in Rasmusen (2001a). **151**

Ayres, Ian (1990) "Playing Games with the Law," *Stanford Law Review*, 42 (5): 1291-1317 (May 1990). **113**

Ayres, Ian (1991) "Fair Driving: Gender and Race Discrimination in Retail Car Negotiations," *Harvard Law Review*, 104 (4): 817-872 (February 1991). **369**

Ayres, Ian & Peter Cramton (1996) "Deficit Reduction through Diversity: How Affirmative Action at the FCC Increased Auction Competition," *Stanford Law Review*, 48: 761-814 (April 1996). **428**

Ayres, Ian. See Brown & Ayres (1994).

Bagchi, Arunabha (1984) *Stackelberg Differential Games in Economic Models*, Berlin: Springer-Verlag (1984). **99**

Bagehot, Walter (1971) "The Only Game in Town," *Financial Analysts Journal*, 27 (2): 12-22 (March/April 1971). Reprinted in Rasmusen (2001). **259**

Bagnoli, Mark & Theodore Bergstrom (1994) "Log-Concave Probability and Its Applications," working paper, http: //ideas. repec. org/p/wpa/wuwp-

mi/9410002. html (1994). **490**

Baird, Douglas, Gertner Robert, & Randal Picker (1994) *Strategic Behavior and the Law: The Role of Game Theory and Information Economics in Legal Analysis*, Cambridge, MA: Harvard University Press (1994), **xxv**

Bajari, Patrick & Ali Hortacsu (2004) "Economic Insights from Internet Auctions," *The Journal of Economic Literature*, 42 (2): 457 - 486 (2004) **428**

Bajari, Patrick, Han Hong, & Stephen Ryan (2004) "Identification and Estimation of Discrete Games of Complete Information," NBER Working Paper No. T0301, http: //ssrn. com/abstract=601103 (October 2004). **99**

Bajari, Patrick & Stephen Tadelis (2001) "Incentives versus Transaction Costs: A Theory of Procurement Contracts," *The RAND Journal of Economics*, 32 (3): 387 - 407 (Autumn 2001). **316**

Baker, George, Michael Jensen, & Kevin J. Murphy (1988) "Compensation and Incentives: Practice vs. Theory," *The Journal of Finance*, 43 (3): 593 - 616 (July 1988). **216**

Baldwin, B. & G. Meese (1979) "Social Behavior in Pigs Studied by Means of Operant Conditioning," *Animal Behavior*, 27: 947 - 957 (August 1979). **26, 35**

Baliga, Sandeep (2002) "Research Summary," http://www. kellogg. northwestern. edu/faculty/baliga/htm/resumm. pdf (undated: 2002?). **281**

Banks, Jeffrey (1991) *Signalling Games in Political Science*, Chur, Switzerland: Harwood Publishers (1991). **348**

Bannerjee, A. V. (1992) "A Simple Model of Herd Behavior," *The Quarterly Journal of Economics*, 107 (3): 797 - 817 (August 1992). **61**

Baron, David (1989) "Design of Regulatory Mechanisms and Institutions," in Schmalensee & Willig (1989). **314, 315**

Baron, David & David Besanko (1984) "Regulation, Asymmetric Information, and Auditing," *The RAND Journal of Economics*, 15 (4): 447 - 470 (Winter 1984). **100**

Baron, David & Robert Myerson (1982) "Regulating a Monopolist with Unknown Costs," *Econometrica*, 50 (4): 911 - 930 (July 1982). **306**

Basar, Tamar & Geert Olsder (1999) *Dynamic Noncooperative Game Theory*, 2nd edition, revised, Philadelphia: Society for Industrial and Applied

Mathematics (1st edition 1982, 2nd edition 1995). **xxvi**

Basu, Kaushik (1993) *Lectures in Industrial Organization Theory*, Oxford: Blackwell Publishers (1993). **xxv**

Baumol, William & Stephen Goldfeld (1968) *Precursors in Mathematical Economics: An Anthology*, London: London School of Economics and Political Science (1968). **6**

Baye, Michael R. & Heidrun H. Hoppe (2003) "The Strategic Equivalence of Rent-Seeking, Innovation, and Patent-Race Games," *Games and Economic Behavior*, 44 (2): 217 - 226. **402**

Baye, Michael. See Kovenock, Baye & de Vries (1996).

Becker, Gary (1968) "Crime and Punishment: An Economic Approach," *The Journal of Political Economy*, 76 (2): 169 - 217 (March/April 1968). **198**

Becker, Gary & George Stigler (1974) "Law Enforcement, Malfeasance and Compensation of Enforcers," *The Journal of Legal Studies*, 3 (1): 1 - 18 (January 1974). **213**

Benoit, Jean-Pierre & Vijay Krishna (1985) "Finitely Repeated Games," *Econometrica*, 17 (4): 317 - 320 (July 1985). **147, 152**

Benoit, Jean-Pierre & Vijay Krishna (2000) "The Folk Theorems for Repeated Games: A Synthesis," Pennsylvania State University working paper, http://econ.la.psu.edu/~vkrishna/papers/synth34.pdf (March 10, 2000).

Bernanke, Benjamin (1983) "Nonmonetary Effects of the Financial Crisis in the Propagation of the Great Depression," *The American Economic Review*, 73 (3): 257 - 276 (June 1983). **265**

Bernheim, B. Douglas (1984a) "Rationalizable Strategic Behavior," *Econometrica*, 52 (4): 1007 - 1028 (July 1984). **35**

Bernheim, B. Douglas (1984b) "Strategic Deterrence of Sequential Entry into an Industry," *The RAND Journal of Economics*, 15 (1): 1 - 11 (Spring 1984). **230**

Bernheim, B. Douglas, Bezalel Peleg, & Michael Whinston (1987) "Coalition-Proof Nash Equilibria Ⅰ: Concepts," *The Journal of Economic Theory*, 42 (1): 1 - 12 (June 1987). **120**

Bernheim, B. Douglas & Michael Whinston (1987) "Coalition-Proof Nash Equilibria Ⅱ: Applications," *The Journal of Economic Theory*, 42 (1):

13 - 29 (June 1987). **120**

Bertrand, Joseph (1883) "Rechercher sur la theorie mathematique de la richesse," *Journal des Savants*, 48: 499 - 508 (September 1883). **90**

Besanko, David, David Dranove, & Mark Shanley (1996) *Economics of Strategy*, New York: John Wiley and Sons (1996). **xxvi**

Besanko, David. See Baron & Besanko (1984).

Bierman, H. Scott & Fernandez, Luis (1998) *Game Theory with Economic Applications*, 2nd edition, Reading, MA: Addison-Wesley (1st edition 1993). **xxvi**

Bikhchandani, Sushil (1988) "Reputations in Repeated Second Price Auctions," *The Journal of Economic Theory*, 46 (1): 97 - 119 (October 1988). **425**

Bikhchandani, Sushil, David Hirshleifer, & Ivo Welch (1992) "A Theory of Fads, Fashion, Custom, and Cultural Change As Informational Cascades," *The Journal of Political Economy*, 100 (5): 992 - 1026 (October 1992). **61**

Binmore, Ken (1990) *Essays on the Foundations of Game Theory*, Oxford: Basil Blackwell (1990). **173**

Binmore, Ken (1992) *Fun and Games: A Text on Game Theory*, Lexington: D. C. Heath (1992). **xxv**

Binmore, Ken & Partha Dasgupta, eds., (1986) *Economic Organizations as Games*, Oxford: Basil Blackwell (1986). **6**

Binmore, Ken, Ariel Rubinstein, & Asher Wolinsky (1986) "The Nash Bargaining Solution in Economic Modelling," *The RAND Journal of Economics*, 17 (2): 176 - 188 (Summer 1986). **380**

Blanchard, Olivier (1979) "Speculative Bubbles, Crashes, and Rational Expectations," *Economics Letters*, 3 (4): 387 - 389 (1979). **149**

Bognanno, Michael L. See Ehrenberg & Bognanno (1990).

Bolton, Patrick & Mathias Dewatripont (2005) *Contract Theory*, Cambridge, MA: MIT Press (2005). **xxviii, 201**

Bond, Eric (1982) "A Direct Test of the 'Lemons' Model: The Market for Used Pickup Trucks," *The American Economic Review*, 72 (4): 836 - 840 (September 1982).

Border, Kim (1985) *Fixed Point Theorems with Applications to Economics*

and Game Theory, Cambridge: Cambridge University Press (1985). **473**

Border, Kim & Joel Sobel (1987) "Samurai Accountant: A Theory of Auditing and Plunder," *The Review of Economic Studies*, 54 (4): 525 - 540 (October 1987). **100**

Bowersock, G. (1985) "The Art of the Footnote," *The American Scholar*, 52: 54 - 62 (Winter 1983/84). **7**

Boyd, Robert & Jeffrey Lorberbaum (1987) "No Pure Strategy Is Evolutionarily Stable in the Repeated Prisoner's Dilemma Game," *Nature*, 327 (6117): 58 - 59 (May 1987). **149**

Boyd, Robert & Peter Richerson (1985) *Culture and the Evolutionary Process*, Chicago: University of Chicago Press (1985). **151**

Boyes, William J. & Stephen K. Happel, "Auctions As an Allocation Mechanism in Academia: The Case of Faculty Offices," *The Journal of Economic Perspectives*, 3 (3): 37 - 40 (Summer 1989). **385**

Brams, Steven (1980) *Biblical Games: A Strategic Analysis of Stories in the Old Testament*, Cambridge, MA: MIT Press (1980). **34**

Brams, Steven (1983) *Superior Beings: If They Exist, How Would We Know?* New York: Springer-Verlag (1983). **34**

Brams, Steven & D. Marc Kilgour (1988) *Game Theory and National Security*, Oxford: Basil Blackwell (1988). **35**

Brandenburger, Adam (1992) "Knowledge and Equilibrium in Games," *The Journal of Economic Perspectives*, 6 (4): 83 - 102 (Fall 1992). **49, 64**

Bresnahan, Timothy & Peter Reiss (1990) "Entry in Monopoly Markets," *The Review of Economic Studies*, 57 (4): 531 - 553. **99**

Bresnahan, Timothy & Peter Reiss (1991a) "Empirical Models of Discrete Games," *The Journal of Econometrics*, 48 (1 - 2): 57 - 81. **99, 467**

Bresnahan, Timothy & Peter Reiss (1991b) "Entry and Competition in Concentrated Markets," *The Journal of Political Economy*, 99 (5): 977 - 1009 (October 1991). **467**

Brown, Jennifer & Ian Ayres (1994) "Economic Rationales for Mediation," *Virginia Law Review*, 80 (2): 323 - 401 (March 1994). **314**

Bulow, Jeremy (1982) "Durable-Goods Monopolists," *The Journal of Political Economy*, 90 (2): 314 - 332 (April 1982). **463**

Bulow, Jeremy, John Geanakoplos, & Paul Klemperer (1985) "Multimarket

Oligopoly: Strategic Substitutes and Complements," *The Journal of Political Economy*, 93 (3): 488-511 (June 1985). **94, 102**

Bulow, Jeremy & Paul Klemperer (1996) "Auctions versus Negotiations," *The American Economic Review*, 86 (1): 180-194 (March 1996). **380, 385, 409**

Bulow, Jeremy & John Roberts (1989) "The Simple Economics of Optimal Auctions," *The Journal of Political Economy*, 97 (5): 1060-1090 (October 1989). **409, 413**

Calfee, John. See Craswell & Calfee (1986).

Calomiris, Charles & Joseph Mason (1997) "Contagion and Bank Failures During the Great Depression: The June 1932 Chicago Banking Panic," *The American Economic Review*, 87 (5): 863-883 (December 1997).

Campbell, Richmond & Lanning Sowden (1985) *Paradoxes of Rationality and Cooperation: Prisoner's Dilemma and Newcomb's Problem*, Vancouver: University of British Columbia Press (1985). **34**

Campbell, W. See Capen et al. (1971).

Canzoneri, Matthew & Dale Henderson (1991) *Monetary Policy in Interdependent Economies*, Cambridge, MA: MIT Press (1991). **35**

Capen, E., R. Clapp, & W. Campbell (1991) "Competitive Bidding in High-Risk Situations," *The Journal of Petroleum Technology*, 23 (1): 641-653 (June 1971). **415, 416, 429**

Cass, David & Karl Shell (1983) "Do Sunspots Matter?" *The Journal of Political Economy*, 91 (2): 193-227 (April 1983). **80**

Cassady, Ralph (1967) *Auctions and Auctioneering*, Berkeley: California University Press (1967). **399, 428**

Chakrabarti, Subir. See Aliprantis & Chakrabarti (1999).

Chammah, Albert. See Rapoport & Chammah (1965).

Chatterjee, Kalyan and William Samuelson (1983) "Bargaining Under Incomplete Information," *Operations Research*, 31 (5): 835-851 (September/October 1983). **381**

Che Yeon-Koo & Ian Gale (1998) "Standard Auctions with Financially Constrained Bidders," *The Review of Economic Studies*, 65 (1): 1-21 (January 1998). **429**

Che Yeon-Koo. See Polinsky & Che (1991).

Chiang, Alpha (1984) *Fundamental Methods of Mathematical Economics*, 3rd edition, New York: McGraw-Hill (1984, 1st edition 1967). **473**

Chiappori, P. A., Steven Levitt, & T Groseclose (2002) "Testing Mixed Strategy Equilibria when Players Are Heterogeneous: The Case of Penalty Kicks in Soccer," *The American Economic Review*, 92 (4): 1138 - 1151 (September 2002). **98**

Chiappori, P. A. & B. Salanie (2003) "Testing Contract Theory: A Survey of Some Recent Work," in *Advances in Economics and Econometrics—Theory and Applications*, *Eighth World Congress*, pp. 115 - 149, M. Dewatripont, L. Hansen, & P. Turnovsky, eds., Econometric Society Monographs, Cambridge: Cambridge University Press (2003). **201**

Cho, In-Koo & David Kreps (1987) "Signaling Games and Stable Equilibria," *The Quarterly Journal of Economics*, 102 (2): 179 - 221 (May 1987). **324, 173**

Chung, Tai-Yeong (1996) "Rent-Seeking Contest when the Prize Increases with Aggregate Efforts," *Public Choice*, 87 (1 - 2): 55 - 65 (1996). **403**

Clapp, R. See Capen et al. (1971).

Coase, Ronald (1960) "The Problem of Social Cost," *The Journal of Law and Economics*, 3: 1 - 44 (October 1960). **192, 217**

Coase, Ronald (1972) "Durability and Monopoly," *The Journal of Law and Economics*, 15 (1): 143 - 149 (April 1972). **463, 469**

Cooper, Russell (1999) *Coordination Games*: *Complementarities and Macroeconomics*, Cambridge: Cambridge University Press (1999). **35**

Cooter, Robert & Peter Rappoport (1984) "Were the Ordinalists Wrong about Welfare Economics?" *The Journal of Economic Literature*, 22 (2): 507 - 530 (June 1984). **33**

Cooter, Robert & Daniel Rubinfeld (1989) "Economic Analysis of Legal Disputes and Their Resolution," *The Journal of Economic Literature*, 27 (3): 1067 - 1097 (September 1989). **115**

Copeland, Thomas & J. Fred Weston (1988) *Financial Theory and Corporate Policy*, 3rd edition, Reading, MA: Addison-Wesley (1st edition, 1983). **338, 487**

Cosmides, Leda & John Tooby (1993) "Cognitive Adaptions for Social

Change," in *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*, pp. 162 – 228, J. H. Barkow, Leda Cosmides, & John Tooby, eds. , Oxford: Oxford University Press (1993). **68**

Cournot, Augustin (1838) *Recherches sur les Principes Mathematiques de la Theorie des Richesses*, Paris: M. Riviere & C. (1838). Translated in *Researches into the Mathematical Principles of Wealth*, New York: A. M. Kelly (1960). **88**

Cox, David & David Hinkley (1974) *Theoretical Statistics*, London: Chapman and Hall (1974). **203**

Cramton, Peter (1984) "Bargaining with Incomplete Information: An Infinite Horizon Model with Two-Sided Uncertainty," *The Review of Economic Studies*, 51 (4): 579 – 593 (October 1984). **381**

Cramton, Peter (undated) "Economics 703: Lecture Note 6: Auctions, Reputations, and Bargaining," http://www.cramton.umd.edu/econ703/note6-auctions-reputations-and-bargaining.pdf. **425**

Cramton, Peter. See Ayres & Cramton (1996).

Crawford, Robert. See Klein et al. (1978).

Crwford, Vincent & Hans Haller (1990) "Learning How to Cooperate: Optimal Play in Repeated Coordination Games," *Econometrica*, 58 (3): 571 – 597 (May 1990). **36**

Crawford, Vincent & Joel Sobel (1982) "Strategic Information Transmission," *Econometrica*, 50 (6): 1431 – 1452 (November 1982). **80**

Dalkey, Norman (1953) "Equivalence of Information Patterns and Essentially Determinate Games," pp. 217 – 243 of Kuhn & Tucker (1953).

Dasgupta, Partha. See Binmore & Dasgupta (1986).

Dasgupta, Partha & Eric Maskin (1986b) "The Existence of Equilibrium in Discontinuous Economic Games, Ⅱ: Applications," *The Review of Economic Studies*, 53 (1): 27 – 41 (January 1986). **258, 444, 448**

D'Aspmmont, Claude, J. Gabszewicz, & Jacques Thisse (1979) "On Hotelling's 'Stability of Competition'," *Econometrica*, 47 (5): 1145 – 1150 (September 1979). Reprinted in Rasmusen (2001). **381, 444, 468**

D'Aspremont, Claude & L. Gerard-Varet (1979) "Incentives and Incomplete Information," *The Journal of Public Economics*, 11 (1): 25 – 45 (Febru-

ary 1979). **444**

David, Paul (1985) "CLIO and the Economics of QWERTY," *AEA Papers and Proceedings*, 75 (2): 332 - 337 (May 1985). **30**

Davis, Philip, Reuben Hersh, & Elena Marchisotto (1981) *The Mathematical Experience*, Boston: Birkhauser (1981). **6**

Dawes, Robyn (1988) *Rational Choice in an Uncertain World*, Fort Worth, Texas: Harcourt Brace (1988). **65, 236**

Dawkins, Richard (1989) *The Selfish Gene*, 2nd edition, Oxford: Oxford University Press (1st edition 1976). **151**

Debreu, Gerard (1959) *Theory of Value: An Axiomatic Analysis of Economic Equilibrium*, New Haven: Yale University Press (1959). **473**

Debreu, Gerard. See Arrow & Debreu (1954).

Debreu, Gerard & Herbert Scarf (1963) "A Limit Theorem on the Core of an Economy," *The International Economic Review*, 4 (3): 235 - 246 (September 1963). **2**

Demsetz, Harold. See Alchian & Demsetz (1972).

Deneckere, Raymond J. & R. Preston McAfee (1996) "Damaged Goods," *The Journal of Economics and Management Strategy*, 5 (2): 149 - 174 (Summer 1996). **457**

de Vries, Casper G. See Kovenock, Baye & de Vries (1996).

Dewatripont, Mathias (1989) "Renegotiation and Information Revelation over Time in Optimal Labor Contracts," *The Quarterly Journal of Economics*, 104 (3): 589 - 620 (August 1989). **219**

Dewatripont, Mathias. See Bolton & Dewatripont (2005).

Diamond, Douglas W. (1984) "Financial Intermediation and Delegated Monitoring," *The Review of Economic Studies*, 51 (3): 393 - 414 (July 1984). **100**

Diamond, Douglas W. (1989) "Reputation Acquisition in Debt Markets," *The Journal of Political Economy*, 97 (4): 828 - 862 (August 1989). **170, 256**

Diamond, Douglas W. & P. Dybvig (1983) "Bank Runs, Deposit Insurance, and Liquidity," *The Journal of Political Economy*, 91 (3): 401 - 419 (June 1983). **102**

Diamond, Peter (1982) "Aggregate Demand Management in Search Equilibri-

um," *The Journal of Political Economy*, 90 (5): 881 - 894 (October 1982). **102**

Diamond, Peter & Michael Rothschild, eds., (1978) *Uncertainty in Economics: Readings and Exercises*, New York: Academic Press (1978). **6**

Dimand, Mary Ann & Robert Dimand (1996) *A History of Game Theory*, London: Routledge (1996). **6, 35**

Dimand, Mary Ann & Robert Dimand (1997) *The Foundations of Game Theory*, 3 Vol., Cheltenham, England: Edward Elgar Publishing (1997). **6**

Dimand, Robert & Mohammed Dore (1999) "Cournot, Bertrand, and Game Theory: A Further Note," *Atlantic Economic Journal*, 27: 325 - 333 (September 1999). **468**

Dixit, Avinash & Barry Nalebuff (1991) *Thinking Strategically: The Competitive Edge in Business, Politics, and Everyday Life*, New York: Norton (1991). **xxiv, 115**

Dixit, Avinash & Susan Skeath (1998) *Games of Strategy*, New York: Norton (1998). **xxvi**

Dixit, Avinash & Joseph Stiglitz (1977) "Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity," *The American Economic Review*, 67 (3): 297 - 308 (June 1977). **468**

Dore, Mohammed. See Dimand & Dore (1999).

Dranove, David. See Besanko, Dranove, & Shanley (1996).

Dubey, Pradeep, Ori Haimanko & Andriy Zapechelnyuk (2006) "Strategic Substitutes and Potential Games," forthcoming, *Games and Economic Behavior*, htpp: //ideas.repec.org/p/nys/sunysb/02 - 02.html (2005). **102**

Duggan, Mark & Steve D. Levitt (2002) "Winning Isn't Everything: Corruption in Sumo Wrestling," *The American Economic Review*, 92 (5): 1594 - 1605 (December 2002). **237**

Dugatkin, Lee & Hudson Reeve, eds., (1998) *Game Theory & Animal Behavior*, Oxford: Oxford University Press (1998). **xxvi, 151**

Dunbar, Robin (1995) *The Trouble with Science*, Cambridge, MA: Harvard University Press (1995). **68**

Dutta, Prajit (1999) *Strategies and Games: Theory and Practice*, Cambridge, MA: MIT Press (1999). **xxvi**

Dybvig, P. See Diamond & Dybvig (1983).

Eaton, C. & Richard Lipsey (1975) "The Principle of Minimum Differentiation Reconsidered: Some New Developments in the Theory of Spatial Competition," *The Review of Economic Studies*, 42 (1): 27-49 (January 1975). **448**

Eatwell, John, Murray Milgate, & Peter Newman (1989) *The New Palgrave: Game Theory*, New York: W. W. Norton & Co. (1989). **xxiv**

Edgeworth, Francis (1897) "La Teoria Pura del Monopolio," *Giornale Degli Economisti*, 40: 13-31 (1925). Translated in pp. 111-142 of Edgeworth, Francis, *Papers Relating to Political Economy*, Vol. I, London: Macmillan (1925). **440**

Edgeworth, Francis (1922) "The Mathematical Economics of Professor Amoroso," *Economic Journal*, 32 (127): 400-407 (September 1922). Reprinted in Rasmusen (2001). **440**

Ehrenberg, Ronald G. & Michael L. Bognanno (1990) "Do Tournaments Have Incentive Effects?" *The Journal of Political Economy*, 98 (6): 1307-1324 (December 1990). **237**

Eichberger, Jurgen (1993) *Game Theory for Economists*, San Diego: Academic Press (1993). **xxv**

Engers, Maxim (1987) "Signalling with Many Signals," *Econometrica*, 55 (3): 663-674 (May 1987). **338**

Fama, Eugene (1980) "Banking in the Theory of Finance," *The Journal of Monetary Economics*, 6 (1): 39-57 (January 1980). **201**

Farrell, Joseph (2001) "Monopoly Slack and Competitive Rigor: A Simple Model," MIT mimeo (February 1983). Published in Rasmusen (2001). **214**

Farrell, Joseph (1987) "Cheap Talk, Coordination, and Entry," *The RAND Journal of Economics*, 18 (1): 34-39 (Spring 1987). Reprinted in Rasmusen (2001). **80**

Farrell, Joseph & Matthew Rabin (1996) "Cheap Talk," *The Journal of Economic Perspectives*, 10 (3): 103-118 (Summer 1996). **317**

Farrell, Joseph & Garth Saloner (1985) "Standardization, Compatibility, and

Innovation," *The RAND Journal of Economics*, 16 (1): 70 - 83 (Spring 1985). **30**

Farrell, Joseph & Carl Shapiro (1988) "Dynamic Competition with Switching Costs," *The RAND Journal of Economics*, 19 (1): 123 - 137 (Spring 1988). **141**

Feltovich, Nick, Richmomd Harbaugh, & Ted To (2002) "Too Cool for School? Signalling and Countersignalling," *The RAND Journal of Economics*, 33 (4): 630 - 649 (Winter 2002). **xxi, 345, 347**

Fisher, D. C. & J. Ryan (1992) "Optimal Strategies for a Generalized 'Scissors, Paper, and Stone' Game," *The American Mathematical Monthly*, 99 (10): 935 - 942 (1992). **98**

Fisher, Franklin (1989) "Games Economists Play: A Noncooperative, View" *The RAND Journal of Economics*, 20 (1): 113 - 124 (Spring 1989). **2**

Flanagan, Thomas (1998) *Game Theory and Canadian Politics*, Toronto: University of Torontn Press (1998). **35**

Fowler, Henry (1926) *A Dictionary of Modern English Usage*, Herefordshire: Wordsworth Editions reprint, (1997). **7**

Fowler, Henry & Frank Fowler (1931) *The King's English*, 3rd edition, Oxford: Clarendon Press (1949). **7**

Frank, Robert (1988) *Passions within Reason: The Strategic Role of the Emotions*, New York: Norton (1988). **361**

Freixas, Xavier, Roger Guesnerie, & Jean Tirole (1985) "Planning under Incomplete Information and the Ratchet Effect," *The Review of Economic Studies*, 52 (2): 173 - 191 (April 1985). **315**

Friedman, James (1990) *Game Theory with Applications to Economics*, New York: Oxford University Press (2nd edition, 1986). **xxiv**

Friedman, Milton (1953) *Essays in Positive Economics*, Chicago: University of Chicago Press (1953). **6**

Fudenberg, Drew & David Levine (1986) "Limit Games and Limit Equilibria," *The Journal of Economic Theory*, 38 (2): 261 - 279 (April 1986). **100, 148, 148**

Fudenberg, Drew & David K. Levine (1989) "Reputation and Equilibrium Selection in Games with a Patient Player," *Econometrica*, 57 (4): 759 -

778 (July 1989).

Fudenberg, Drew & Eric Maskin (1986) "The Folk Theorem in Repeated Games with Discounting or with Incomplete Information," *Econometrica*, 54 (3): 533 - 554 (May 1896). **149, 169**

Fudenberg, Drew & Jean Tirole (1983) "Sequential Bargaining with Incomplete Information," *The Review of Economic Studies*, 50 (2): 221 - 247 (April 1983). **365**

Fudenberg, Drew & Jean Tirole (1986b) "A Theory of Exit in Duopoly," *Econometrica*, 54 (4): 943 - 960 (July 1986). **148**

Fudenberg, Drew & Jean Tirole (1986c) "A Signal-Jamming Theory of Predation," *The RAND Journal of Economics*, 17 (3): 366 - 376 (Autumn 1986). **341**

Fudenberg, Drew & Jean Tirole (1991a) *Game Theory*, Cambridge, MA: MIT Press (1991). **xix, xxiv, 65, 77, 120, 149, 195, 306, 381, 454, 473, 484**

Fudenberg, Drew & Jean Tirole (1991b) "Perfect Bayesian Equilibrium and Sequential Equilibrium," *The Journal of Economic Theory*, 53 (2): 236 - 260 (April 1991). **173**

Gabszewicz, J. See d'Aspremont et al. (1979).

Galbraith, John Kenneth (1954) *The Great Crash*, Boston: Houghton Mifflin (1954). **238**

Gale, Ian. See Che & Gale (1998).

Gal-Or, Esther (1985) "First Mover and Second Mover Advantages," *International Economic Review*, 26 (3): 649 - 653 (October 1985). **94**

Gardner, Roy, *Games for Business and Economics*, New York: John Wiley and Sons (2nd edition 2003). **xxv**

Gaskins, Darius (1974) "Alcoa Revisited: The Welfare Implications of a Second-Hand Market," *The Journal of Economic Theory*, 7 (3): 254 - 271 (March 1974). **469**

Gates, Scott & Brian Humes (1997) *Games, Information, and Politics: Applying Game Theoretic Models to Political Science*, Ann Arbor: University of Michigan Press (1997). **xxvi**

Gaudet, Gerard & Stephen Salant (1991) "Uniqueness of Cournot Equilibri-

um: New Results from Old Methods," *The Review of Economic Studies*, 58: 399 - 404 (April 1991). **467**

Gaver, Kenneth & Jerold Zimmerman (1977) "An Analysis of Competitive Bidding on BART Contracts," *The Journal of Business*, 50 (3): 279 - 295 (July 1977). **213**

Geanakoplos, John (1992) "Common Knowledge," *The Journal of Economic Perspectives*, 6 (4): 53 - 82 (Fall 1992). **64**

Geanakoplos, John. See Bulow et al. (1985).

Geanakoplos, John & Heraklis Polemarchakis (1982) "We Can't Disagree Forever," *The Journal of Economic Theory*, 28 (1): 192 - 200 (October 1982). **65**

Gerard-Varet, L. See D'Aspremont & Gerard-Varet (1979).

Gertner, Robert. See Baird, Gertner, & Picker (1994).

Ghemawat, Pankaj (1997) *Games Businesses Play: Cases and Models*, Cambridge, MA: MIT Press (1997). **xxvi**

Ghemawat, Pankaj & Barry Nalebuff (1985) "Exit," *The RAND Journal of Economics*, 16 (2): 184 - 194 (Summer 1985). **76**

Gibbard, Allan (1973) "Manipulation of Voting Schemes: A General Result," *Econometrica*, 41 (4): 587 - 601 (July 1973). **314**

Gibbons, Robert (1992) *Game Theory for Applied Economists*, Princeton: Princeton University Press (1992). **xxv, 284, 381**

Gillies, Donald (1953) "Locations of Solutions," in *Report of an Informal Conference on the Theory of n-Person Games*, pp. 11 - 12, Princeton Mathematics mimeo (1953). **1**

Gintis, Herbert (2000) *Game Theory Evolving*, Princeton: Princeton University Press (2002) . **xxvii, 144, 351**

Gjesdal, Froystein (1982) "Information and Incentives: The Agency Information Problem," *The Review of Economic Studies*, 49 (3): 373 - 390 (July 1982). **203**

Glazer, Jacob & Albert Ma (1989) "Efficient Allocation of a 'Prize': King Solomon's Dilemma," *Games and Economic Behavior*, 1 (3): 222 - 233 (1989). **281**

Glosten, Lawrence & Paul Milgrom (1985) "Bid, Ask, and Transaction Prices in a Specialist Model with Heterogeneously Informed Traders," *The*

Journal of Financial Economics, 14 (1): 71 - 100 (March 1985). **259**
Goldfeld, Stephen. See Baumol & Goldfeld (1968).
Gonik, Jacob (1978) "Tie Salesmen's Bonuses to Their Forecasts," *Harvard Business Review*, 56: 116 - 123 (May/June 1978). Reprinted in Rasmusen (2001). **292**
Gordon, David. See Rapaport, Guyer, & Gordon (1976).
Graham, Daniel & Robert Marshall (1987) "Collusive Bidding Behavior at Single-Object Second-Price and English Auctions," *The Journal of Political Economy*, 95 (6): 1217 - 1239. **413**
Green, Jerry. See Mas-Colell, Whinston, & Green (1994).
Greenhut, Melvin & Hiroshi Ohta (1975) *Theory of Spatial Pricing and Market Areas*, Durham, N.C.: Duke University Press (1975). **468**
Grinblatt, Mark & Chuan-Yang Hwang (1989) "Signalling and the Pricing of New Issues," *The Journal of Finance*, 44 (2): 393 - 420 (June 1989). **339**
Groseclose, T. See Chiappori, Levitt, & Groseclose (2002).
Grossman, Gene & Michael Katz (1983) "Plea Bargaining and Social Welfare," *The American Economic Review*, 73 (4): 749 - 757 (September 1983). **348**
Grossman, Sanford & Oliver Hart (1980) "Takeover Bids, the Free-Rider Problem, and the Theory of the Corporation," *The Bell Journal of Economics*, 11 (1): 42 - 64 (Spring 1980). **230**
Grossman, Sanford & Oliver Hart (1983) "An Analysis of the Principal Agent Problem," *Econometrica*, 51 (1): 7 - 45 (January 1983). **195**
Groves, Theodore (1973) "Incentives in Teams," *Econometrica*, 41 (4): 617 - 631 (July 1973). **296**
Guasch, J. Luis & Andrew Weiss (1980) "Wages as Sorting Mechanisms in Competitive Markets With Asymmetric Information: A Theory of Testing," *The Review of Economic Studies*, 47 (4): 653 - 664 (July 1980). **272**
Guesnerie, Roger. See Freixas et al. (1985).
Guth, Werner, Rold Scbmittberger, & Bernd Schwarze (1982) "An Experimental Analysis of Ultimatum Bargaining," *The Journal of Economic Behavior and Organization*, 3 (4): 367 - 388 (December 1982). **118**
Guyer, Melvin. See Rapaport, Guyer & Gordon (1976).

Hail, Philip A. See Athey & Haile (2005).

Haimanko, Ori. See Dubey, Haimanko, & Zapechelnyuk (2002).

Haller, Hans (1986) "Noncooperative Bargaining of $N \geqslant 3$ Players," *Economics Letters*, 22: 11 - 13 (1986). **364**

Haller, Hans. See Crawford & Haller (1990).

Halmos, Paul (1970) "How to Write Mathematics," *L'Enseignement Mathematique*, 16 (2): 123 - 152 (May/June 1970). **7**

Haltiwanger, John & Michael Waldman (1991) "Responders versus Nonresponders: A New Perspective of Heterogeneity," *Economic Journal*, 101 (408): 1085 - 1102 (September 1991). **468**

Hamilton, William. See Axelrod & Hamilton (1981).

Han Fei Tzu (c. 250 B. C.) *Basic Writings*, translated by Burton Watson, New York: Columbia University Press (1964). **216, 217**

Happel, Stephen K. See Boyes & Happel (1989).

Harbaugh, Richmond. See Feltovich, Harbaugh, & To (2002).

Harper, David. See Maynard-Smith & Harper (2004).

Harrington, Joseph (1987) "Collusion in Multiproduct Oligopoly Games under a Finite Horizon," *The International Econonmic Review*, 28 (1): 1 - 14 (February 1987). **147**

Harris, Milton & Bengt Holmstrom (1982) "A Theory of Wage Dynamics," *The Review of Economic Studies*, 49 (3): 315 - 334 (July 1982). **52**

Harris, Milton & Arthur Raviv (1992) "Financial Contracting Theory," in *Advances in Economic Theory: Sixth World Congress*, ed. Jean-Jacques Laffont, Cambridge: Cambridge University Press (1992)。

Harris, Milton & Arthur Raviv (1995) "The Role of Games in Security Design," *The Review of Financial Studies*, 8 (2): 327 - 367 (Summer 1995). **263**

Harris, Robert. See Franks et al. (1988)

Harsanyi, John (1967) "Games with Incomplete Information Played by 'Bayesian' Players, Ⅰ: The Basic Model," *Management Science*, 14 (3): 159 - 182 (November 1967). **2, 53**

Harsanyi, John (1968a) "Games with Incomplete Information Played by 'Bayesian' Players, Ⅱ: Bayesian Equilibrium Points," *Management Science*, 14 (5): 320 - 334 (January 1968).

Harsanyi, John (1968b) "Games with Incomplete Information Played by 'Bayesian' Players, Ⅲ: The Basic Probability Distribution of the Game," *Management Science*, 14 (7): 486 - 502 (March 1968).

Harsanyi, John (1973) "Games with Randomly Disturbed Payoffs: A New Rationale for Mixed Strategy Equilibrium Points," *The International Journal of Game Theory*, 2 (1): 1 - 23 (1973). **73**

Harsanyi, John (1977) *Rational Behavior and Bargaining Equilibrium in Games and Social Situations*, New York: Cambridge University Press (1977). **380**

Harsanyi, John & Reinhard Selten (1988) *A General Theory of Equilibrium Selection in Games*, Cambridge, MA: MIT Press (1988). **31**

Hart, Oliver & Bengt Holmstrom (1987) "The Theory of Contracts," in *Advances in Economic Theory*, ed. T. F. Bewley, pp. 71 - 155, Cambridge: Cambridge University Press (1987). **183**

Hart, Oliver & John Moore (1990), "Property Rights and the Nature of the Firm," *The Journal of Political Economy*, 98 (6): 1119 - 1158 (December 1990). **218, 219**

Hart, Oliver. See Grossman & Hart (1980, 1983)

Hart, Sergiu (2005) "An Interview with Robert Aumann," http://www.ma.huji.ac.il/~hart/abs/aumann.html (January 2005; updated April 2005). **35**

Hart, Sergiu. See Aumann & Hart (1992).

Hausman, Jerry & James Poterba (1987) "Household Behavior and the Tax Reform Act of 1986," *The Journal of Economic Perspectives*, 1 (1): 101 - 119 (Summer 1987). **305**

Haywood, O. (1954) "Military Decisions and Game Theory," *Journal of the Operations Research Society of America*, 2 (4): 365 - 385 (November 1954). **22**

Henderson, Dale. See Canzoneri & Henderson (1991).

Hendricks, Ken, Andrew Weiss, & Charles A. Wilson (1988) "The War of Attrition in Continuous Time with Complete Information," *International Economic Review*, 29 (4): 663 - 680 (November 1988).

Hendricks, Ken & Robert Porter (1988) "An Empirical Study of an Auction with Asymmetric Information," *The American Economic Review*, 78 (5):

865 - 883 (December 1988). **428**

Hendricks, Ken & Robert Porter (forthcoming), "Lectures on Auctions: An Empirical Perspective," in *The Handbook of Industrial Organization, Vol.* Ⅲ, M. Armstrong and R. Porter, eds., Elsevier, forthcoming. **428**

Herodotus (c. 429 B. C.) *The Persian Wars*, George Rawlinson, translator, New York: Modern Library (1947). **34**

Hersh, Reuben. See Davis & Hersh (1981).

Hines, W. (1987) "Evolutionary Stable Strategies: A Review of Basic Theory," *Theoretical Population Biology*, 31 (2): 195 - 272 (April 1987). **151**

Hinkley, David. See Cox & Hinkley (1974).

Hirshleifer, David (1995) "The Blind Leading the Blind: Social Influence, Fads, and Informational Cascades," in *The New Economics of Human Behavior*, Mariano Tommasi and Kathryn Ierulli, eds., pp. 188 - 215 (chapter 12), Cambridge: Cambridge University Press (1995). **61**

Hirshleifer, David & Eric Rasmusen (1989) "Cooperation in a Repeated Prisoner's Dilemma with Ostracism," *The Journal of Economic Behavior and Organization*, 12 (1): 87 - 106 (August 1989). **147**

Hirshleifer, David. See Png & Hirshleifer (1987), Bikhchandani, Hirshleifer, & Welch (1992).

Hirshleifer, Jack (1982) "Evolutionary Models in Economics and Law: Cooperation versus Conflict Strategies," *Research in Law and Economics*, 4: 1 - 60 (1982). **35, 151**

Hirshleifer, Jack (1987) "On the Emotions as Guarantors of Threats and Promises," in *The Latest on the Best: Essays on Evolution and Optimality*, ed. John Dupre, Cambridge, MA: MIT Press (1987). **150**

Hirshleifer, Jack (1989) "Conflict and Rent-Seeking Success Functions: Ratio and Difference Models of Relative Success," *Public Choice*, 63 (2): 101 - 112. **420**

Hirshleifer, Jack & Juan Martinez-Coll (1988) "What Strategies Can Support the Evolutionary Emergence of Cooperation?" *The Journal of Conflict Resolution*, 32 (2): 367 - 398 (June 1988). **149**

Hirshleifer, Jack & Eric Rasmusen (1992) "Are Equilibrium Strategies Unaffected by Incentives?" *The Journal of Theoretical Politics*, 4: 343 - 357

(July 1992). **100**

Hirshleifer, Jack & John Riley (1979) "The Analytics of Uncertainty and Information: An Expository Survey," *The Journal of Economic Literature*, 17 (4): 1375 - 1421 (December 1979).

Hirshleifer, Jack & John Riley (1992) *The Analytics of Uncertainty and Information*, Cambridge: Cambridge University Press (1992). **xxv, 49**

Hoffman, Elizabeth & Matthew Spitzer (1985) "Entitlements, Rights and Fairness: An Experimental Examination of Subjects' Concepts of Distributive Justice," *The Journal of Legal Studies*, 14 (2): 269 - 297 (June 1985). **360**

Hofstadter, Douglas (1983) "Computer Tournaments of the Prisoner's Dilemma Suggest How Cooperation Evolves," *Scientific American*, 248 (5): 16 - 26 (May 1983). **175**

Holmes, Olive (1881) *The Common Law*, Boston: Little, Brown and Co. (1923). **217, 217**

Holnstrom, Bengt (1979) "Moral Hazard and Observability," *The Bell Journal of Economics*, 10 (1): 74 - 91 (Spring 1979). **197, 202**

Holmstrom, Bengt (1982) "Moral Hazard in Teams," *The Bell Journal of Economics*, 13 (2): 324 - 340 (Autumn 1982). **227, 230, 238**

Holmstrom, Bengt & Paul Milgrom (1987) "Aggregation and Linearity in the Provision of Intertemporal Incentives," *Econometrica*, 55 (2): 303 - 328 (March 1987). **xx**

Holmstrom, Bengt & Paul Milgrom (1991) "Multitask Principal-Agent Analyses: Incentive Contracts, Asset Ownership, and Job Design," *The Journal of Law, Economics and Organization*, 7: 24 - 52 (Special Issue, 1991). **xx, xx, 230**

Holmstrom, Bengt & Roger Myerson (1983) "Efficient and Durable Decision Rules with Incomplete Information," *Econometrica*, 51 (6): 1799 - 1819 (November 1983).

Holmstrom, Bengt. See Harris & Holmstrom (1982), Hart & Holmstrom (1987)

Holt, Charles A. & Lisa R. Anderson (1996) "Classroom Games: Understanding Bayes Rule," *The Journal of Economic Perspectives*, 10 (2): 179 - 187 (Spring 1996). **68**

Holt, Charles & David Scheffman (1987) "Facilitating Practices: The Effects of Advance Notice and Best-Price Policies," *The RAND Journal of Economics*, 18 (2): 187 - 197 (Summer 1987). **469**

Hong, Han. See Bajari, Hong, & Ryan (2004).

Hoppe, Heidrun H. See Baye & Hoppe (2003).

Hortacsu, Ali. See Bajari & Hortacsu (2004).

Hotelling, Harold (1929) "Stability in Competition," *Economic Journal*, 39: 41 - 57 (March 1929). Reprinted in Rasmusen (2001). **441**, **446**

Hughes, Patricia (1986) "Signalling by Direct Disclosure under Asymmetric Information." *The Journal of Accounting and Economics*, 8 (2): 119 - 142 (June 1986). **338**

Humes, Brian. See Gates & Humes (1996).

Hwang, Chuan-Yang. See Grinblatt & Hwang (1989).

Intriligator, Michael (1971) *Mathematical Optimization and Economic Theory*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall (1971). **473**

Isoda, Kazuo. See Nikaido & Isoda (1955).

Jarrell, Gregg & Sam Peltzman (1985) "The Impact of Product Recalls on the Wealth of Sellers," *The Journal of Political Economy*, 93 (3): 512 - 536 (June 1985). **150**

Jensen, Michael C. (2003) "Paying People to Lie: The Truth about the Budgeting Process," *European Financial Management*, 9 (3): 379 - 406 (September 2003). **201**

Jensen, Michael C. See Baker et al. (1988).

Jin, Ginger & Philip Leslie (2003) "The Effect of Information on Product Quality: Evidence from Restaurant Hygiene Grade Cards," *The Quarterly Journal of Economics*, 118 (2): 409 - 451 (2003). **348**

Johnson, Norman & Samuel Kotz (1970) *Distributions in Statistics*, 3 vol., New York: John Wiley and Sons (1970). **481**

Kahneman, Daniel, Paul Slovic, & Amos Tversky, eds., (1982) *Judgement Under Uncertainty: Heuristics and Biases*, Cambridge: Cambridge University Press (1982). **65**, **236**

Kakutani, Shizuo (1941) "A Generalization of Brouwer's Fixed Point Theorem," *Duke Mathematical Journal*, 8 (3): 457 - 459 (September 1941). **485**

Kalai, Ehud, Dov Samet, & William Stanford (1988) "Note on Reactive Equilibria in the Discounted Prisoner's Dilemma and Associated Games," *The International Journal of Game Theory*, 17: 177 - 186 (1988). **131**

Kamien, Morton & Nancy Schwartz (1982) *Market Structure and Innovation*, Cambridge: Cambridge University Press (1982).

Kamien, Morton & Nancy Schwartz (1991) *Dynamic Optimization: The Calculus of Variations and Optimal Control in Economics and Management*, 2nd edition, New York: North Holland (1991, 1st edition 1981). **473**

Kandori, Michihiro (2002) "Introduction to Repeated Games with Private Monitoring," *The Journal of Economic Theory*, 102 (1): 1 - 15 (January 2002). **149**

Kandori, Michihiro & H. Matsushima (1998) "Private Observation, Communication, and Collusion," *Econometrica*, 66 (3): 627 - 652. **87**

Kaplow, Louis & Steven Shavell (1996) "Property Rules versus Liability Rules: An Economic Analysis," *Harvard Law Review*, 109 (4): 713 - 789 (February 1996). **429**

Karlin, Samuel (1959) *Mathematical Methods and Theory in Games, Programming and Economics*, Reading, MA: Addison-Wesley (1959). **77**

Katz, Lawrence (1986) "Efficiency Wage Theory: A Partial Evaluation," in *NBER Macroeconomics Annual 1986*, ed. Stanley Fischer, Cambridge, MA: MIT Press (1986). **236**

Katz, Michael & Carl Shapiro (1985) "Network Externalities, Competition, and Compatibility," *The American Economic Review*, 75 (3): 424 - 440 (June 1985) **30**

Katz, Michael, See Grossman & Katz (1983).

Katz, Michael, See Moskowitz et al. (1980)

Kennan, John & Robert Wilson (1993) "Bargaining with Private Information," *The Journal of Economic Literature*, 31 (1): 45 - 104 (March 1993). **115, 381, 469**

Kennedy, Peter (1979) *A Guide to Econometrics*, 1st edition, Cambridge, MA: MIT Press (1979, 5th edition 2003).

Keynes, John Maynard (1933) *Essays in Biography*, New York: Harcourt, Brace and Company (1933). **6**

Keynes, John Maynard (1936) *The General Theory of Employment, Interest and Money*, London: Macmillan (1947). **35**

Kierkegaard, Soren (1938) *The Journals of Soren Kierkegaard*, translated by Alexander-Dru, Oxford: Oxford University Press (1938). **129**

Kihlstrom, Richard & Michael Riordan (1984) "Advertising as a Signal," *The Journal of Political Economy*, 92 (3): 427-450 (June 1984). **348**

Kilgour, D. Marc. See Brams & Kilgour (1988).

Kindleberger, Charles (1983) "Standards as Public, Collective and Private Goods," *Kyklos*, 36: 377-396 (1983). **30**

Klein, Benjamin, Robert Crawford, & Armen Alchian (1978) "Vertical Integration, Appropriable Rents, and the Competitive Contracting Process," *The Journal of Law and Economics*, 21 (2): 297-326 (October 1978). **201, 218**

Klein, Benjamin & Keith Leffler (1981) "The Role of Market Forces in Assuring Contractual Performance," *The Journal of Political Economy*, 89 (4): 615-641 (August 1981). **138, 140, 150, 236**

Klein, Benjamin & Lester Saft (1985) "The Law and Economics of Franchise Tying Contracts," *The Journal of Law and Economics*, 28 (2): 345-361 (May 1985). **203**

Klemperer, Paul (1987) "The Competitiveness of Markets with Switching Costs," *The RAND Journal of Economics*, 18 (1): 138-150 (Spring 1987). **141**

Klemperer, Paul (1998) "Auctions with Almost Common Values: The 'Wallet Game' and Its Applications," *European Economic Review*, 42 (3-5): 757-769 (May 1998). **424**

Klemperer, Paul, ed. (2000) *The Economic Theory of Auctions*. Cheltenham, England: Edward Elgar (2000). http://www.paulklemperer.org. **6, 419, 428**

Klemperer, Paul (2004) *Auctions: Theory and Practice*, Princeton: Princeton University Press (2004). http://www.paulklemperer.org. **403, 425, 427, 428**

Klemperer, Paul. See Bulow, Geanakoplos, & Klemperer (1985), Bulow &

Klemperer (1996).

Kohlberg, Elon & Jean-Francois Mertens (1986) "On the Strategic Stability of Equilibria," *Econometrica*, 54 (5): 1003-1007 (September 1986). **101**

Kotz, Samuel. See Johnson & Kotz (1970).

Kovenock, Dan, Michael R. Baye, & Casper G. de Vries (1996) "The All-Pay Auction with Complete Information," *Economic Theory*, 8 (2): 291-305. **400**

Kreps, David (1990a) *A Course in Microeconomic Theory*, Princeton: Princeton University Press (1990). **xxiv, 65**

Kreps, David (1990b) *Game Theory and Economic Modeling*, Oxford: Oxford University Press (1990). **xxiv, 173**

Kreps, David, Paul Milgrom, John Roberts, & Robert Wilson (1982) "Rational Cooperation in the Finitely Repeated Prisoners' Dilemma," *The Journal of Economic Theory*, 27: 245-252 (August 1982). Reprinted in Rasmusen (2001). **2, 167**

Kreps, David & Jose Scheinkman (1983) "Quantity Precommitment and Bertrand Competition Yield Cournot Outcomes," *The Bell Journal of Economics*, 14 (2): 326-337 (Autumn 1983). **468**

Kreps, David & A. Michael Spence (1985) "Modelling the Role of History in Industrial Organization and Competition," in *Issues in Contemporary Microeconomics and Welfare*, ed. George Feiwel, London: Macmillan (1985). **3**

Kreps, David & Robert Wilson (1982a) "Reputation and Imperfect Information," *Journal of Economic Theory*, 27 (2): 253-279 (August 1982).

Kreps, David & Robert Wilson (1982b) "Sequential Equilibria," *Econometrica*, 50 (4): 863-894 (July 1982). **2**

Krishna, Vijay (2002) *Auction Theory*, San Diego: Academic Press (2002). **xxvii, 387, 400, 404, 428**

Krishna, Vijay. See Benoit & Krishna (1985, 2000).

Krouse, Clement (1990) *Theory of Industrial Economics*, Oxford: Blackwell (1990). **xxiv**

Kuhn, Harold (1953) "Extensive Games and the Problem of Information," in Kuhn & Tucker (1953). **98**

Kuhn, Harold, ed. (1997) *Classics in Game Theory*, Princeton: Princeton University Press (1997). **6**

Kuhn, Harold & Albert Tucker, eds., (1953) *Contributions to the Theory of Games, Volume* Ⅱ, *Annals of Mathematics Studies, No. 28*, Princeton: Princeton University Press (1953).

Kuhn, Thomas (1970) *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago: University of Chicago Press (1970). **446**

Kydland, Finn & Edward Prescott (1977) "Rules rather than Discretion: The Inconsistency of Optimal Plans," *The Journal of Political Economy*, 85 (3): 473 - 491 (June 1977). **122**

Kyle, Atbert (1985) "Continuous Auctions and Insider Trading," *Econometrica*, 53 (6): 1315 - 1336 (November 1985). **261**

Laffont, Jean-Jacques & David Martimort (2001) *The Theory of Incentives: The Principal-Agent Model*, Princeton: Princeton University Press (2001). **xxv**

Laffont, Jean-Jacques & Jean Tirole (1986) "Using Cost Observation to Regulate Firms," *Journal of Political Economy*, 94 (3): 614 - 641 (June 1986).

Laffont, Jean-Jacques & Jean Tirole (1993) *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*, Cambridge, MA: MIT Press (1993). **120, 305, 314**

Lakatos, Imre (1976) *Proofs and Refutations: The Logic of Mathematical Discovery*, Cambridge: Cambridge University Press (1976). **3**

Lane, W. (1980) "Product Differentiation in a Market with Endogenous Sequential Entry," *The Bell Journal of Economics*, 11 (1): 237 - 260 (Spring 1980). **469**

Layard, Richard & George Psacharopoulos (1974) "The Screening Hypothesis and the Returns to Education," *The Journal of Political Economy*, 82 (5): 985 - 998 (September/October 1974). **330, 348**

Lazear, Edward & Sherwin Rosen (1981) "Rank-Order Tournaments As Optimum Labor Contracts," *The Journal of Political Economy*, 89 (5): 841 - 864 (October 1981). **236**

Leffler, Keith. See Klein & Leffler (1981).

Leibenstein, Harvey (1950) "Bandwagon, Snob and Veblen Effects in the Theory of Consumers' Demand," *The Quarterly Journal of Economics*, 64

(2): 183 - 207 (May 1950). **270**

Leitzel, James. See Alexeev & Leitzel (1996).

Leland, Hayne & David Pyle (1977) "Informational Asymmetries, Financial Structure, and Financial Intermediation," *The Journal of Finance*, 32 (2): 371 - 387 (May 1977). **339**

Leonard, Robert J. (1995) "From Parlor Games to Social Science: Von Neumann, Morgenstern, and the Creation of Game Theory 1928 - 1944," *The Journal of Economic Literature*, 33 (2): 730 - 761 (June 1995). **35**

Leshno, Moshe, Haim Levy, & Yishay Spector (1997) "A Comment on Rothschild and Stiglitz's 'Increasing Risk Ⅰ: A Definition'," *The Journal of Economic Theory*, 77 (1): 223 - 228 (November 1997). **489**

Leslie, Philip. See Jin & Leslie (2003).

Levering, Robert. See Moskowitz et al. (1980).

Levine, David. See Fudenberg & Levine (1986, 1989).

Levitan, Richard & Martin Shubik (1972) "Price Duopoly and Capacity Constraints," *The International Economic Review*, 13 (1): 111 - 122 (February 1972). **440**

Levitt, Steven. See Chiappori, Levitt, & Groseclose (2002), Duggan & Levitt (2002).

Levmore, Saul (1982) "Self-Assessed Valuation for Tort and Other Law," *Virginia Law Review*, 68 (4): 771 - 861 (April 1982). **314**

Levy, Haim. See Leshno, Levy, & Spector (1997).

Lewis, David (1969) *Convention: A Philosophical Study*, Cambridge: Harvard University Press (1969). **64**

Liebowitz, S. & Stephen Margolis (1990) "The Fable of the Keys," *The Journal of Political Economy*, 33 (1): 1 - 25 (April 1990). Reprinted in *Famous Fables of Economics: Myths of Market Failures*, ed. Daniel F. Spulber, Oxford: Blackwell Publishers (2001). **30**

Lipsey, Richard. See Eaton & Lipsey (1975).

Lively, C. M. See Sinervo & Lively (1996).

Loeb, Martin & Wesley A. Magat (1979) "A Decentralized Method for Utility Regulation," *The Journal of Law and Economics*, 22 (2): 399 - 404 (October 1979). **306**

Lorberbaum, Jeffrey. See Boyd & Lorberbaum (1987).

Lucas, Robert. See Stokey & Lucas (1989).

Luce, R. Duncan & Howard Raiffa (1957) *Games and Decisions: Introduction and Critical Survey*, New York: Wiley (1957). **xxiii, xxiii, 35, 134, 148, 380**

Ma, Albert. See Glazer & Ma (1989).

Macaulay, Stewart (1963) "Non-Contractual Relations in Business," *The American Sociological Review*, 28 (1): 55 - 70 (February 1963). **150**

Macho-Stadler, Ines & J. David Perez-Castillo (1997) *An Introduction to the Economics of Information: Incentives and Contracts*, Oxford: Oxford University Press (1997). **xxvi, 201**

Macrae, Norman (1992) *John von Neumann*, New York: Random House (1992). **18, 35**

Magat, Wesley A. See Loeb & Magat (1979).

Margolis, Stephen. See Liebowitz & Margolis (1990).

Mason, Joseph. See Calomiris & Mason (1997).

Maynard-Smith, John & David Harper (2004) *Animal Signals*, Oxford: Oxford University Press (2004). **348**

Marschak Jacob & Roy Radner (1972) *Economic Theory of Teams*, New Haven: Yale University Press (1972). **238**

Martin, Stephen (1993) *Advanced Industrial Economics*, Oxford: Blackwell Publishers (1993). **xxv**

Martinez-Coll. See J. Hirshleifer & Martinez-Coll (1988).

Mas-Colell, Andreu, Michael Whinston, & Jerry Green (1995) *Microeconomic Theory*, Oxford: Oxford University Press (1995). **xxvi, 381, 484**

Maskin, Eric (1977) "Nash Implementation and Welfare Optimality," mimeo, MIT. Published in 1999 in the *The Review of Economic Studies*, 66 (1): 23 - 38 (January 1999). **280**

Maskin, Eric (2004) "The Unity of Auction Theory: Milgrom's Masterclass," *The Journal of Economic Literature*, 42 (4): 1102 - 1115 (December 2004). **428**

Maskin, Eric. See Dasgupta & Maskin (1986a, 1986b), Fudenberg & Maskin (1986).

Maskin, Eric & John Riley (1985) "Input vs. Output Incentive Schemes,"

Journal of Public Economics, 28: 1 – 23 (October 1985).
Maskin, Eric & Jean Tirole (1987) "Correlated Equilibria and Sunspots," *The Journal of Economic Theory*, 43 (2): 364 – 373 (December 1987). **80**
Mathewson, G. Frank & Ralph Winter (1985) "The Economics of Franchise Contracts," *The Journal of Law and Economics*, 28 (3): 503 – 526 (October 1985). **203**
Matsushima, H. See Kandori & Matsushima (1998).
Mayer, Colin. See Franks et al. (1988).
Maynard Smith, John (1974) "The Theory of Games and the Evolution of Animal Conflicts," *The Journal of Theoretical Biology*, 47 (1): 209 – 221 (September 1974). **76**
Maynard Smith, John (1982) *Evolution and the Theory of Games*, Cambridge: Cambridge University Press (1982). **151**
Maynard Smith, John & G. A. Parker (1976) "The Logic of Asymmetric Contests," *Animal Behavior*, 24: 159 – 175.
McAfee, R. Preston (2002) *Competitive Solutions: The Strategist's Toolkit*, Princeton: Princeton University Press (2002). **xxvii, 77, 226, 315, 457**
McAfee, R. Preston & John McMillan (1986) "Bidding for Contracts: A Principal-Agent Analysis," *The RAND Journal of Economics*, 17 (3): 326 – 338 (Autumn 1986).
McAfee, R. Preston & John McMillan (1987) "Auctions and Bidding," *The Journal of Economic Literature*, 25 (2): 699 – 754 (June 1987). **428**
McAfee, R. Preston & John McMillan (1988) *Incentives in Government Contracts*, Toronto: University of Toronto Press (1988). **314**
McAfee, R. Preston & John McMillan (1996) "Analyzing the Airwaves Auction," *The Journal of Economic Perspectives*, 10 (1): 159 – 175 (Winter 1996). Reprinted in Rasmusen (2001). **428**
McAfee, R. Preston. See Deneckere & McAfee (1996).
McCloskey, Donald (1985) "Economical Writing," *Economic Inquiry*, 24 (2): 187 – 222 (April 1985). **7**
McCloskey, Donald (1987) *The Writing of Economics*, New York: Macmillan (1987). **7**
McDonald, John & John Tukey (1949) "Colonel Blotto: A Problem of Military Strategy," *Fortune*, 40: 102 (June 1949). Reprinted in Rasmusen

(2001). **101**

McGee, John (1958) "Predatory Price Cutting: The Standard Oil (N.J.) Case," *The Journal of Law and Economics*, 1: 137-169 (October 1958). **111**

McMillan, John (1992) *Games, Strategies, and Managers: How Managers Can Use Game Theory to Make Better Business Decisions*, Oxford: Oxford University Press (1992). **xxv, 66**

McMillan, John. See McAfee & McMillan (1986, 1987, 1988, 1996).

Mead, Walter, Asbjorn Moseidjord, & Philip Sorenson (1984) "Competitive Bidding under Asymmetrical Information: Behavior and Performance in Gulf of Mexico Drainage Lease Sales 1959-1969," *The Review of Economics and Statistics*, 66 (3): 505-508 (August 1984). **415**

Meckling, William. See Jensen & Meckling (1976).

Meese, G. See Baldwin & Meese (1979).

Mertens, Jean-Francois. See Kohlberg & Mertens (1986).

Mertens, Jean-Francois & S. Zamir (1985) "Formulation of Bayesian Analysis for Games with Incomplete Information," *The International Journal of Game Theory*, 14 (1): 1-29 (1985). **65**

Milgate, Murray. See Eatwell et al. (1989).

Milgrom, Paul (1981a) "An Axiomatic Characterization of Common Knowledge" *Econometrica*, 49 (1): 219-222 (January 1981). **64**

Milgrom, Paul (1981b) "Good News and Bad News: Representation Theorems and Applications," *The Bell Journal of Economics*, 12 (2): 380-391 (Autumn 1981). **203**

Milgrom, Paul (1981c) "Rational Expectations, Information Acquisition, and Competitive Bidding," *Econometrica*, 49 (4): 921-943 (July 1981). **425**

Milgrom, Paul (1999) *Auction Theory for Privatization*, Cambridge: Cambridge University Press (1999). **316, 428**

Milgrom, Paul (2004) *Putting Auction Theory to Work*, Cambridge: Cambridge University Press (2004). **xxvii, 404, 316**

Milgrom, Paul & John Roberts (1982) "Limit Pricing and Entry under Incomplete Information: An Equilibrium Analysis," *Econometrica*, 50 (2): 443-459 (March 1982). **175, 341**

Milgrom, Paul & John Roberts (1986) "Price and Advertising Signals of

Product Quality," *The Journal of Political Economy*, 94 (4): 796 - 821 (August 1986). **348**

Milgrom, Paul & John Roberts (1990) "Rationalizability, Learning, and Equilibrium in Games with Strategic Complementarities," *Econometrica*, 58 (61): 1255 - 1279 (November 1990). **102, 454, 483, 484**

Milgrom, Paul & John Roberts (1992) *Economics, Organizations, and Management*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall (1992). **xxiv, 201**

Milgrom, Paul & Robert Weber (1982) "A Theory of Auctions and Competitive Bidding," *Econometrica*, 50 (5): 1089 - 1122 (September 1982). **407, 417, 425, 428**

Milgrom, Paul. See Kreps et al. (1982), Glosten & Milgrom (1985), and Holmstrom & Milgrom (1987, 1991).

Milinski, M. (1987) "TIT FOR TAT in Sticklebacks and the Evolution of Cooperation," *Nature*, 325: 433 - 435 (January 29, 1987). **149**

Miller, Geoffrey (1986) "An Economic Analysis of Rule 68," *The Journal of Legal Studies*, 15: 93 - 125 (January 1986). **113**

Mirrlees, James (1971) "An Exploration in the Theory of Optimum Income Taxation," *The Review of Economic Studies*, 38 (114): 175 - 208 (April 1971). **269, 293, 306**

Mirrlees, James (1974) "Notes on Welfare Economics, Information and Uncertainty," in *Essays on Economic Behavior under Uncertainty*, M. Balch, Daniel McFadden, and S. Wu, eds., Amsterdam: North Holland (1974). **203, 272**

Mookherjee, Dilip & Ivan Png (1989) "Optimal Auditing, Insurance, and Redistribution," *The Quarterly Journal of Economics*, 104 (2): 399 - 415 (May 1989). **100**

Moore, John. See Hart & Moore (1990).

Moreaux, Michel (1985) "Perfect Nash Equilibria in Finite Repeated Game and Uniqueness of Nash Equilibrium in the Constituent Game," *Economics Letters*, 17 (4): 317 - 320 (1985). **147**

Morgenstern, Oskar. See von Neumann & Morgenstern (1944).

Morris, Peter (1994) *Introduction to Game Theory*, Berlin: Springer-Verlag (1994). **xxv**

Morrison, Clarence (1998) "Cournot, Bertrand, and Modern Game Theo-

ry," *Atlantic Economic Review*, 26: 172–174 (June 1998). **467**

Morrow, James (1994) *Game Theory for Political Scientists*, Princeton: Princeton University Press (1994). **xxv**

Moseidjord, Asbjorn. See Mead et al. (1984).

Moulin, Herve (1986) *Eighty-Nine Exercises with Solutions from Game Theory for the Social Sciences*, 2nd and revised edition, New York: NYU Press (1986). **xxiii**

Murphy, Kevin J. See Baker et al. (1988).

Muthoo, Abhinay (1999) *Bargaining Theory With Applications*, Cambridge: Cambridge University Press (1999). **xxvii**

Muzzio, Douglas (1982) *Watergate Games*, New York: New York University Press (1982). **35**

Myerson, Roger (1979) "Incentive Compatibility and the Bargaining Problem," *Econometrica*, 47 (1): 61–73 (January 1979). **314**

Myerson, Roger (1981) "Optimal Auction Design," *Mathematics of Operations Research*, 6 (1): 58–73 (February 1981). **314, 413, 429**

Myerson, Roger (1991) *Game Theory: Analysis of Conflict*, Cambridge: Harvard University Press (1991). **xxiv, 413**

Myerson, Roger (1999) "Nash Equilibrium and the History of Economic Theory," *The Journal of Economic Literature*, 37 (3): 1067–1082 (September 1999). **6, 34**

Myerson, Roger. See Holmstrom & Myerson (1983).

Myerson, Roger & Mark Satterthwaite (1983) "Efficient Mechanisms for Bilateral Trading," *The Journal of Economic Theory*, 29 (2): 1–21 (April 1983). **376**

Nalebuff, Barry. See Ghemawat & Nalebuff (1985), Dixit & Nalebuff (1991).

Nalebuff, Barry & John Riley (1985) "Asymmetric Equilibria in the War of Attrition," *The Journal of Theoretical Biology*, 113 (3): 517–527 (April 1985). **76**

Nalebuff, Barry & David Scharfstein (1987) "Testing in Models of Asymmetric Information," *The Review of Economic Studies*, 54 (2): 265–278 (April 1987). **272**

Nalebuff, Barry & Joseph Stiglitz (1983) "Prizes and Incentives: Towards a General Theory of Compensation and Competition," *The Bell Journal of Economics*, 14 (1): 21 - 43 (Spring 1983). **237**

Nasar, Sylvia (1998) *A Beautiful Mind*, New York: Simon and Schuster (1998). **6, 35**

Nash, John (1950a) "The Bargaining Problem," *Econometrica*, 18 (2): 155 - 162 (January 1950). Reprinted in Rasmusen (2000). **1**

Nash, John (1950b) "Equilibrium Points in n-Person Games," *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 36 (1): 48 - 49 (January 1950). Reprinted in Rasmusen (2001). **1**

Nash, John (1951) "Non-Cooperative Games," *Annals of Mathematics*, 54 (2): 286 - 295 (September 1951). Reprinted in Rasmusen (2001). **1**

Nelson, Philip (1974) "Advertising as Information," *The Journal of Political Economy*, 84 (4): 729 - 754 (July/August 1974). **348**

Newman, John. See Eatwell et al. (1989).

Novshek, William (1985) "On the Existence of Cournot Equilibrium," *The Review of Economic Studies*, 52 (1): 85 - 98 (January 1985). **467**

Ohta, Hiroshi. See Greenhut & Ohta (1975).

Olsder, Geert. See Basar & Olsder (1999).

Ordeshook, Peter (1986) *Game Theory and Political Theory: An Introduction*, Cambridge: Cambridge University Press (1986). **xxiii**

Osborne, Martin (2003) *An Introduction to Game Theory*, Oxford: Oxford University Press (2003). **xxvii**

Osborne, Martin & Carolyn Pitchik (1986) "The Nature of Equilibrium in a Location Model" *International Economic Review*, 27 (1): 223 - 237 (February 1986). **448**

Osborne, Martin & Carolyn Pitchik (1987) "Equilibrium in Hotelling's Model of Spatial Competition," *Econometrica*, 55 (4): 911 - 922 (July 1987). **468**

Osborne, Martin & Ariel Rubinstein (1994) *A Course in Game Theory*, Cambridge, MA: MIT Press (1994). **xxv**

Owen, Guillermo (1995) *Game Theory*, 3rd edition, New York: Academic Press (1st edition 1968) (1995). **xxvi**

Parker, G. A. See Maynard Smith & Parker (1976).

Pearce, David (1984) "Rationalizable Strategic Behavior and the Problem of Perfection," *Econometrica*, 52 (4): 1029 - 1050 (July 1984). **35**

Pearce, David. See Abreu et al. (1986, 1990).

Peleg, Bezalel. See Bernheim et al. (1987).

Peltzman, Sam (1991) "The Handbook of Industrial Organization: A Review Article," *The Journal of Political Economy*, 99 (1): 201 - 217 (February 1991). **98**

Peltzman, Sam. See Jerrell & Peltzman (1985).

Perez-Castillo. See Macho-Stadler & Perez-Castillo (1997).

Perri, Timothy (2001). See Rasmusen & Perri (2001).

Perry, Motty (1986) "An Example of Price Formation in Bilateral Situations: A Bargaining Model with Incomplete Information," *Econometrica*, 54 (2): 313 - 321 (March 1986). **381, 401**

Perry, Motty & Philip J. Reny (1990) "On the Failure of the Linkage Principle," *Econometrica*, 67 (4): 895 - 890. **427**

Petrakis, Emmanuel. See Rasmusen & Petrakis (1992).

Picker, Randal. See Baird, Gertner & Picker (1994).

Pigou, A. (1920), *The Economics of Welfare*, 4th edition (1932), London: Macmillan and Company (1952, 1st edition 1920). **201**

Pitchik, Carolyn. See Osborne & Pitchik (1986, 1987).

Png, Ivan (1983) "Strategic Behaviour in Suit, Settlement, and Trial," *The Bell Journal of Economics*, 14 (2): 539 - 550 (Autumn 1983). **61**

Png, Ivan. See Mookherjee & Png (1989).

Png, Ivan & David Hirshleifer (1987) "Price Discrimination through Offers to Match Price," *The Journal of Business*, 60 (3): 365 - 385 (July 1987). **469**

Polemarchakis, Heraklis. See Geanakoplos & Polemarchakis (1982).

Polinsky, A. Mitchell & Yeon-Koo Che (1991) "Decoupling Liability: Optimal Incentives for Care and Litigation," *The RAND Journal of Economics*, 22 (4): 562 - 570 (Winter 1991). **198**

Popkin, Samuel (1979) *The Rational Peasant: The Political Economy of Rural Society in Vietnam*, Berkeley: University of California Press (1979). **218**

Porter, Robert (1983a) "Optimal Cartel Trigger Price Strategies," *The Journal of Economic Theory*, 29 (2): 313 - 338 (April 1983). **149, 230**

Porter, Robert (1983b) "A Study of Cartel Stability: The Joint Executive Committee, 1880 - 1886," *The Bell Journal of Economics*, 14 (2): 301 - 314 (Autumn 1983). **149**

Porter, Robert. See Hendricks & Porter (1988, forthcoming).

Posner, Richard (1975) "The Social Costs of Monopoly and Regulation," *The Journal of Political Economy*, 83 (4): 807 - 827 (August 1975). **76**

Poterba, James. See Hausman & Poterba (1987).

Prescott, Edward. See Kydland & Prescott (1977).

Poundstone, William (1992) *Prisoner's Dilemma: John von Neumann, Game Theory and the Puzzle of the Bomb*, New York: Doubleday (1992). **33**

Psacharopoulos, George. See Layard & Psacharopoulos (1974).

Pyle. David. See Leland & Pyle (1977).

Quine, William (1953) "On a So-Called Paradox," *Mind*, 62: 65 - 67 (January 1953). **123**

Rabin, Matthew. See Farrell & Rabin (1996).

Radner, Roy (1980) "Collusive Behavior in Oligopolies with Long but Finite Lives," *The Journal of Economic Theory*, 22 (2): 136 - 156 (April 1980). **148**

Radner, Roy (1985) "Repeated Principal-Agent Games with Discounting," *Econometrica*, 53 (5): 1173 - 1198 (September 1985). **216**

Radner, Roy. See Marschak & Radner (1972).

Raff, Daniel & Lawrence Summers (1987) "Did Henry Ford Pay Efficiency Wages?" *The Journal of Labor Economics*, 5 (4): 57 - 86 (October 1987). **265**

Raiffa, Howard (1992) "Game Theory at the University of Michigan, 1948 - 52," in *Toward a History of Game Theory*, ed. E. Roy Weintraub, pp. 165 - 176, Durham: Duke University Press (1992). **33**

Raiffa, Howard. See Luce & Raiffa (1957).

Ramseyer, J. Mark. See Wiley, Rasmusen, & Ramseyer (1990).

Rapoport, Anatol (1960) *Fights, Games and Debates*, Ann Arbor: Univer-

sity of Michigan Press (1960). **xxiii**

Rapoport, Anatol (1970) *N-Person Game Theory: Concepts and Applications*, Ann Arbor: University of Michigan Press (1970). **xxiii**

Rapoport, Anatol & Albert Chammah (1965) *Prisoner's Dilemma: A Study in Conflict and Cooperation*, Ann Arbor: University of Michigan Press (1965). **169**

Rapoport, Anatol, Melvin Guyer, & David Gordon (1976) *The 2×2 Game*, Ann Arbor: University of Michigan Press (1976). **33, 34**

Rappoport, Peter. See Cooter & Rappoport (1984).

Rasmusen, Eric (1987) "Moral Hazard in Risk-Averse Teams," *The RAND Journal of Economics*, 18 (3): 428 - 435 (Fall 1987). **230, 237, 238**

Rasmusen, Eric (1988a) "Entry for Buyout," *The Journal of Industrial Economics*, 36 (3): 281 - 300 (March 1988). **3**

Rasmusen, Eric (1988b) "Mutual Banks and Stock Banks," *The Journal of Law and Economics*, 31 (2): 395 - 422 (October 1988). **216, 206**

Rasmusen, Eric (1989a) *Games and Information*, Oxford: Basil Blackwell (1989) (second edition, 1994, third edition 2001) Japanese translation by Moriki Hosoe, Shozo Murata, and Yoshinobu Arisada, Kyushu University Press, vol. 1 (1990), vol. 2 (1991). Italian translation (*Teoria dei Giochi e Informazore*) by Alberto Bernardo, Milan: Ulrico Hoepli Editore (1993). Spanish translation (*Juegos e Informacion*) by Roberto Mazzoni, Mexico City: Fondo de Cultura Economica (1997). Chinese Complex Characters translation, Wu-Nan Book Company, Taipei (2003). Chinese Simplified Characters translation, Yang Yao, Liangjing Publishing. French translation, *Jeux et information*, Brussels: Editions de Boeck & Larcier (2004). **xxiv, xxvi, xxvii**

Rasmusen, Eric (1989b) "A Simple Model of Product Quality with Elastic Demand," *Economics Letters*, 29 (4): 281 - 283 (1989). **138**

Rasmusen, Eric (1992a) "Folk Theorems for the Observable Implications of Repeated Games," *Theory and Decision*, 32: 147 - 164 (March 1992). **133, 149**

Rasmusen, Eric (1992b) "Managerial Conservatism and Rational Information Acquisition," *The Journal of Economics and Management Strategy*, 1 (1): 175 - 202 (Spring 1992). **60**

Rasmusen, Eric (1992c) "An Income-Satiation Model of Efficiency Wages." *Economic Inquiry*, 30 (3): 467 - 478 (July 1992). **241**

Rasmusen, Eric (1993) "Lobbying when the Decisionmaker Can Acquire Independent Information," *Public Choice*, 77: 899 - 913 (1993). **337**

Rasmusen, Eric (2000) "Writing, Speaking, and Listening," in Rasmusen (2001). **7**

Rasmusen, Eric, ed. (2001) *Readings in Games and Information*, Oxford: Blackwell Publishing (2001). **140**

Rasmusen, Eric & Timothy Perri (2001) "Can High Prices Ensure Product Quality when Buyers Do Not Know the Sellers' Cost?" *Economic Inquiry*, 39 (4): 561 - 567 (October 2001). **6, 140**

Rasmusen, Eric & Emmanuel Petrakis (1992) "Defining the Mean-Preserving Spread: 3-pt versus 4-pt," *Decision Making Under Risk and Uncertainty: New Models and Empirical Findings*, ed. John Geweke, Amsterdam: Kluwer (1992). **489**

Rasmusen, Eric & Todd Zenger (1990) "Diseconomies of Scale in Employment Contracts," *The Journal of Law, Economics and Organization*, 6 (1): 65 - 92 (June 1990). **238**

Rasmusen Eric. See D. Hirshleifer & Rasmusen (1989), J. Hirshleifer & Rasmusen (1992), and Wiley, Rasmusen, & Ramseyer (1990).

Ratliff, Jim (1997a) "Nonequilibrium Solution Concepts: Iterated Dominance and Rationalizability," lecture notes, http: //www. virtualperfection. com/gametheory/2. 2. Iterated Dominance Rationality. 1. 0. pdf (1997). **24, 33, 35**

Ratliff, Jim (1997b). "Strategic Dominance," lecture notes http://www. virtualperfection. com/gametheory/BF2. 1. Strategic Dominance. 1. 0. pdf, (1997). **33**

Raviv, Arthur. See M. Harris & Raviv (1992, 1995).

Ray, D. See Mookherjee & Ray (1992).

Reeve, Hudson. See Dugatkin & Reeve (1998).

Reinganum, Jennifer (1998) "Plea Bargaining and Prosecutorial Discretion," *The American Economic Review*, 78 (4): 713 - 728 (September 1988). **348**

Reinganum, Jennifer & Nancy Stokey (1985) "Oligopoly Extraction of a

Common Property Natural Resource: The Importance of the Period of Commitment in Dynamic Games," *The International Economic Review*, 26 (1): 161 - 174 (February 1985). **123**

Reiss, Peter. See Bresnahan & Reiss (1991).

Reny, Philip J. See Perry & Reny (1999).

Reynolds, Robert. See Salant et al. (1983).

Richerson, Peter. See Boyd & Richerson (1985).

Riker, William (1986) *The Art of Political Manipulation*, New Haven: Yale University Press (1986). **35, 124**

Riley, John G. (1980) "Strong Evolutionary Equilibrium and the War of Attrition," *The Journal of Theoretical Biology*, 82 (3): 383 - 400 (February 1980). **76**

Riley, John G. (1989) "Expected Revenues from Open and Sealed Bid Auctions," *The Journal of Economic Perspectives*, 3 (3): 41 - 50 (Summer 1989). **76, 406, 396**

Riley, John G. (2001) "Silver Signals: Twenty-Five Years of Screening and Signaling," *The Journal of Economic Literature*, 39 (2): 432 - 478 (June 2001). **348**

Riley, John G. See Hirshleifer & Riley (1979, 1992), Maskin & Riley (1984, 1985), and Nalebuff & Riley (1985).

Riordan, Michael. See Kihlstrom & Riordan (1984).

Roberts, John. See Kreps et al. (1982) and Milgrom & Roberts (1982a, 1982b, 1986, 1990, 1992).

Roberts, John & Hugo Sonnenschein (1976) "On the Existence of Cournot Equilibrium without Concave Profit Functions," *The Journal of Economic Theory*, 13 (1): 112 - 117 (August 1976). **467**

Robinson, Marc (1985) "Collusion and the Choice of Auction," *The RAND Journal of Economics*, 16 (1): 1 - 5 (Spring 1985). **413**

Rochet, Jean-Charles, & Lars Stole (2003) "The Economics of Multidimensional Screening," in *Advances in Economics and Econometrics: Theory and Applications, Eighth World Congress*, M. Dewatripont, L. Hansen and S. Turnovsky, eds., Cambridge: Cambridge University Press (2003). http://gsblas.uchicago.edu/papers/worldcongress.pdf (2003). **348**

Rogerson, William (1982) "The Social Costs of Monopoly and Regulation: A

Game-Theoretic Analysis," *The Bell Journal of Economics*, 13 (2): 391 - 401 (Autumn 1982). **80**

Romp, Graham (1997) *Game Theory: Introduction and Applications*, Oxford: Oxford University Press (1997). **xxvi**

Rosen, Sherwin (1986) "Prizes and Incentives in Elimination Tournaments," *The American Economic Review*, 76 (4): 701 - 715 (September 1986). **236**

Rosen, Sherwin. See Lazear & Rosen (1981).

Rosenberg, David & Steven Shavell (1985) "A Model in Which Suits Are Brought for Their Nuisance Value," *The International Review of Law and Economics*, 5: 3 - 13 (June 1985). **115**

Ross, Steven (1977) "The Determination of Financial Structure: The Incentive-Signalling Approach," *The Bell Journal of Economics*, 8 (1): 23 - 40 (Spring 1977). **348**

Roth, Alvin (1984) "The Evolution of the Labor Market for Medical Interns and Residents: A Case Study in Game Theory," *The Journal of Political Economy*, 92 (6): 991 - 1016 (December 1984).

Roth, Alvin (2002) "The Economist as Engineer: Game Theory, Experimental Economics and Computation As Tools of Design Economics," Fisher Schultz lecture, *Econometrica*, 70 (4): 1341 - 1378 (July 2002). **385**

Rothkopf, Michael H. (1969) "Competitive Bidding with Asymmetric Information," *Management Science*, 15 (7): 362 - 373 (March 1969). **429**

Rothkopf, Michael H. (1980) "TREES: A Decision-Maker's Lament," *Operations Research*, 28 (1): 3 (January/February 1980). Reprinted in Rasmusen (2001).

Rothschild, Michael (1974) "A Two-Armed Bandit Theory of Market Pricing," *The Journal of Economic Theory*, 9 (2): 185 - 202 (October 1974). **60**

Rothschild, Michael & Joseph Stiglitz (1970) "Increasing Risk I. A Definition" *The Journal of Economic Theory*, 2 (2): 225 - 243 (September 1970). Reprinted in Diamond & Rothschild (1978). **489**

Rothschild, Michael & Joseph Stiglitz (1976) "Equilibrium in Competitive Insurance Markets: An Essay on the Economics of Imperfect Information," *Quarterly Journal of Economics*, 90 (4): 629 - 649 (November 1976). **255**

Rothschild, Michael. See Diamond & Rothschild (1978).

Rubin, Paul (1978) "The Theory of the Firm and the Structure of the Franchise Contract" *The Journal of Law and Economics*, 21 (1): 223 - 233 (April 1978). **203**

Rubinfeld, Daniel. See Cooter & Rubinfeld (1989).

Rubinstein, Ariel (1979) "An Optimal Conviction Policy for Offenses That May Have Been Committed by Accident," in *Applied Game Theory*, Steven Brams, A. Schotter, Gerhard Schrodiauer, eds., pp. 406 - 413, Physica-Verlag (1979). Reprinted in Rasmusen (2001). **239**

Rubinstein, Ariel (1982) "Perfect Equilibrium in a Bargaining Model," *Econometrica*, 50 (1): 97 - 109 (January 1982). Reprinted in Rasmusen (2001). **363, 364**

Rubinstein, Ariel (1985) "A Bargaining Model with Incomplete Information about Time Preferences," *Econometrica*, 53 (5): 1151 - 1172 (September 1985). **381**

Rubinstein, Ariel. See Binmore et al. (1986), Osborne & Rubinstein (1994).

Rudin, Walter (1964) *Principles of Mathematical Analysis*, New York: McGraw-Hill (1964). **473**

Ryan, Stephen. See Bajari, Hong, & Ryan (2004).

Saft, Lester. See Klein & Saft (1985).

Salanie, Bernard (1997) *The Economics of Contracts: A Primer*, Cambridge, MA: MIT Press (1997). **xxvi**

Salanie, Bernard. See Chiappori & Salanie (2003).

Salant, Stephen, Sheldon Switzer, & Robert Reynolds (1983) "Losses from Horizontal Merger: The Effects of an Exogenous Change in Industry Structure on Cournot-Nash Equilibrium," *The Quarterly Journal of Economics*, 98 (1): 185 - 199 (May 1983). **467**

Salant, Stephen. See Gaudet & Salant (1991).

Saloner, Garth. See Farrell & Saloner (1985).

Salop, Steven & Joseph Stiglitz (1977) "Bargains and Ripoffs; A Model of Monopolistically Competitive Price Dispersion," *The Review of Economic Studies*, 44 (3): 493 - 510 (October 1977). **263**

Samet, Dov. See Kalai, Samet, & Stanford (1988).

Samuelson, Paul (1958) "An Exact Consumption-Loan Model of Interest with or without the Social Contrivance of Money," *The Journal of Political Economy*, 66 (6): 467 - 482 (December 1958). **141, 151**

Samuelson, William (1984) "Bargaining under Asymmetric Information," *Econometrica*, 52 (4): 995 - 1005 (July 1984). **381**

Samuelson, William. See Chatterjee & Samuelson (1983).

Satterthwaite, Mark. See Myerson & Satterthwaite (1983).

Savage, Leonard (1954) *The Foundations of Statistics*, New York: Wiley (1954). **65**

Scarf, Herbert. See Debreu & Scarf (1963).

Scharfstein, David. See Nalebuff & Scharfstein (1987).

Scheffman, David. See Holt & Scheffman (1987).

Scheinkman, Jose. See Kreps & Scheinkman (1983).

Schelling, Thomas (1960) *The Strategy of Conflict*, Cambridge: Harvard University Press (1960). **2, 32**

Schelling, Thomas (1978) *Micromotives and Macrobehavior*, New York: W. W. Norton (1978). **35**

Schick, Frederic (2003) *Ambiguity and Logic*, Cambridge: Cambridge University Press (2003). Chapter 5: http://www. lucs. lu. se/spinning/categories/decision/Schick/Schick. pdf. **123**

Schmalensee, Richard (1982) "Product Differentiation Advantages of Pioneering Brands," *The American Economic Review*, 72 (3): 349 - 365 (June 1982). **140**

Schmalensee, Richard & Robert Willig, eds. , (1989) *The Handbook of Industrial Organization*, New York: North-Holland (1989). **xxiv**

Schmittberger, Rold. See Guth et al. (1982).

Schumpeter, Joseph (1911/1934) *Theory of Economic Development*, translated from the German 3rd edition by Redvers Opie, Cambridge: Harvard University Press (1st edition 1911). **446**

Schwartz, Nancy. See Kamien & Schwartz (1981, 1991).

Schwarze, Bernd. See Guth et al. (1982).

Seligman, Daniel (1992) *A Question of Intelligence : The IQ Debate in America*, New York: Carol Publishing (1992). **269**

Selten, Reinhard (1965) "Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodells

mit Nachfragetragheit," *Zeitschrift f'ur die gesamte Staatswissenschaft*, 121: 301 - 324, 667 - 689 (October 1965). **2, 122**

Selten, Reinhard (1975) "Reexamination of the Perfectness Concept for Equilibrium Points in Extensive Games," *The International Journal of Game Theory*, 4 (1): 25 - 55 (1975). **2, 122**

Selten, Reinhard (1978) "The Chain-Store Paradox," *Theory and Decision*, 9 (2): 127 - 159 (April 1978). **129, 148**

Selten, Reinhard. See Harsanyi & Selten (1988).

Shaked, Avner (1982) "Existence and Computation of Mixed Strategy Nash Equilibrium for 3-Firms Location Problem," *The Journal of Industrial Economics*, 31 (1/2): 93 - 96 (September/December 1982). Reprinted in Rasmusen (2001). **448**

Shaked, Avner & John Sutton (1983) "Natural Oligopolies, " *Econometrica*, 51 (5): 1469 - 1483 (September 1983). **455, 468**

Shaked, Avner & John Sutton (1984) "Involuntary Unemployment as a Perfect Equilibrium in a Bargaining Model," *Econometrica*, 52 (6): 1351 - 1364 (November 1984). **363**

Shanley, Mark. See Besanko, Dranove, & Shanley (1996).

Shapiro, Carl (1982) "Consumer Information, Product Quality and Seller Reputation," *Bell Journal of Economics*, 13 (1): 20 - 35 (Spring 1982).

Shapiro, Carl (1983) "Premiums for High Quality Products as Returns to Reputation," *The Quarterly Journal of Economics*, 98 (4): 659 - 679 (November 1983). **150**

Shapiro, Carl (1989) "The Theory of Business Strategy," *The RAND Journal of Economics*, 20 (1): 125 - 137 (Spring 1989).

Shapiro, Carl. See Farrell & Shapiro (1988), Katz & Shapiro (1985).

Shapiro, Carl & Joseph Stiglitz (1984) "Equilibrium Unemployment As a Worker Discipline Device," *The American Economic Review*, 74 (3): 433 - 444 (June 1984). **150, 213**

Shapley, Lloyd (1953a) "Open Questions," *in Report of an Informal Conference on the Theory of n-Person Games*, p. 15, Princeton Mathematics mimeo (1953). **1**

Shapley, Lloyd (1953b) "A Value for n-Person Games," pp. 307 - 317 of Kuhn & Tucker (1953). **1, 380**

Shavell, Steven (1979) "Risk Sharing and Incentives in the Principal and Agent Relationship," *The Bell Journal of Economics*, 10 (1): 55 - 73 (Spring 1979). **202**

Shavell, Steven. See Rosenberg & Shavell (1985), Kaplow & Shavell (1996).

Shell, Karl. See Cass & Shell (1983).

Shubik, Martin (1954) "Does the Fittest Necessarily Survive?" in *Readings in Game Theory and Political Behavior*, ed. Martin Shubik, pp. 43 - 46. Garden City, New York: Doubleday (1954). Reprinted in Rasmusen (2001). **77, 124**

Shubik, Martin (1971) "The Dollar Auction Game: A Paradox in Noncooperative Behavior and Escalation," *The Journal of Conflict Resolution*, 15: 109 - 111 (March 1971). Reprinted in Rasmusen (2001). **402**

Shubik, Martin (1982) *Game Theory in the Social Sciences: Concepts and Solutions*, Cambridge, MA: MIT Press (1982). **xxiii, 64, 380**

Shubik, Martin (1992) "Game Theory at Princeton, 1949 - 1955: A Personal Reminiscence," in *Toward a History of Game Theory*, ed. E. Roy Weintraub, pp. 151 - 164, Durham: Duke University Press (1992). **6**

Shubik, Martin. See Levitan & Shubik (1972).

Shy, Oz (1996) *Industrial Organization, Theory and Applications*, Cambridge, MA: MIT Press (1996). **xxvi**

Simon, Leo (1987) "Games with Discontinuous Payoffs," *The Review of Economic Studies*, 54 (4): 569 - 598 (October 1987). **448**

Sinervo, B. & C. M. Lively (1996) "The Rock-Paper-Scissors Game and the Evolution of Alternative Male Strategies," *Nature*, 380: 240 - 243 (March 21, 1996). **98**

Skeath, Susan. See Dixit & Skeath (1999).

Slade, Margaret (1987) "Interfirm Rivalry in a Repeated Game: An Empirical Test of Tacit Collusion," *The Journal of Industrial Economics*, 35 (4): 499 - 516 (June 1987). **149**

Slatkin, Montgomery (1980) "Altruism in Theory," review of Scott Boorman & Paul Levitt, *The Genetics of Altruism*. *Science*, 210: 633 - 647 (November 1980). **3**

Slovic, Paul. See Kahneman, Slovic, & Tversky (1982).

Smith, Abbie. See Antle & Sm[illegible] (1986).

Smith, Adam (1776) *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, Chicago: University of Chicago Press (1977). **213, 347**

Smith, J. See DeBrock & Smith (1983).

Sobel, Joel. See Border & Sobel (1987), Crawford & Sobel (1982).

Sobel, Joel & Ichiro Takahashi (1983) "A Multi-Stage Model of Bargaining," *The Review of Economic Studies*, 50 (3): 411 - 426 (July 1983). **381**

Sonnenschein, Hugo. See Roberts & Sonnenschein (1976).

Sorenson, Philip. See Mead et al. (1984).

Sowden, Lanning. See Campbell & Sowden (1985).

Spector, Yishay. See Leshno, Levy & Spector (1997).

Spence, A. Michael (1973) "Job Market Signalling," *The Quarterly Journal of Economics*, 87 (3): 355 - 374 (August 1973). **320**

Spence, A. Michael. See Kreps & Spence (1984).

Spitzer, Matthew. See Hoffman & Spitzer (1985).

Stacchetti, Ennio. See Abreu et al. (1986, 1990).

Stackelberg, Heinrich von (1934) *Marktform und Gleichgewicht*, Berlin: J. Springer. Translated by Alan Peacock as *The Theory of the Market Economy*, London: William Hodge (1952). **101, 101**

Stahl, Saul (1998) *A Gentle Introduction to Game Theory*, Providence, RI: American Mathematical Society (1998). **xxvii**

Stanford, William. See Kalai, Samet, & Stanford (1988).

Starmer, Chris (2000) "Developments in Non-Expected Utility Theory," *The Journal of Economic Literature*, 38 (2): 332 - 382 (June 2000). **33, 65**

Staten, Michael & John Umbeck (1986) "A Study of Signaling Behavior in Occupational Disease Claims," *The Journal of Law and Economics*, 29 (2): 263 - 286 (October 1986). **348**

Stigler, George (1964) "A Theory of Oligopoly," *The Journal of Political Economy*, 72 (1): 44 - 61 (February 1964). **149**

Stigler, George. See Becker & Stigler (1974).

Stiglitz, Joseph (1987) "The Causes and Consequences of the Dependence of Quality on Price," *The Journal of Economic Literature*, 25 (1): 1 - 48 (March 1987). **140, 150, 270, 348**

Stiglitz, Joseph & Andrew Weiss (1981) "Credit Rationing in Markets with Imperfect Information," *The American Economic Review*, 71 (3): 393 - 410 (June 1981). **265**

Stiglitz, Joseph. See Dixit & Stiglitz (1977), Nalebuff & Stiglitz (1983), Rothschild & Stiglitz (1970, 1976), Salop & Stiglitz (1977), and Shapiro & Stiglitz (1984).

Stokey, Nancy & Robert Lucas (1989) *Recursive Methods in Economic Dynamics*, Cambridge: Harvard University Press (1989). **473**

Stokey, Nancy. See Reinganum & Stokey (1985).

Stole, Lars (2001) "Lecture Notes on the Theory of Contracts and Organizations," 17 February 2001 draft, http://gsblas.uchicago.edu/papers/lectures.pdf. **314**

Stole, Lars. See Rochet & Stole (2003).

Straffin, Philip (1980) "The Prisoner's Dilemma," *UMAP Journal*, 1: 101 - 103 (1980). Reprinted in Rasmusen (2001). **33**

Strunk, William & E. B. White (1959) *The Elements of Style*, New York: Macmillan (1959). **7**

Sugden, Robert (1986) *The Economics of Rights, Co-operation and Welfare*, Oxford: Blackwell (1986). **129**

Sultan, Ralph (1974) *Pricing in the Electrical Oligopoly, Vol I: Competition or Collusion*, Cambridge: Harvard University Press (1974). **413, 469**

Summers, Larry. See Raff & Summers (1987).

Sutton, John (1986) "Non-Cooperative Bargaining Theory: An Introduction," *The Review of Economic Studies*, 53 (5): 709 - 724 (October 1986). **381**

Sutton, John (1991) *Sunk Costs and Market Structure: Price Competition, Advertising, and the Evolution of Concentration*, Cambridge, MA: MIT Press (1991). **467**

Sutton, John. See Shaked & Sutton (1983, 1984).

Switzer, Sheldon. See Salant et al. (1983).

Szenberg, Michael, ed. (1992) *Eminent Economists: Their Life Philosophies*, Cambridge: Cambridge University Press (1992). **35**

Szenberg, Michael, ed. (1998) *Passion and Craft: Economists at Work*,

Ann Arbor: University of Michigan Press (1998). **6**

Tadelis, Stephen. See Bajari & Tadelis (2001).

Takahashi, Ichiro. See Sobel & Takahashi (1983).

Takayama, Akira (1985) *Mathematical Economics*, 2nd edition, Cambridge: Cambridge University Press (1985). **473**

Telser, Lester (1966) "Cutthroat Competition and the Long Purse," *The Journal of Law and Economics*, 9: 259 - 277 (October 1966). **170**

Telser, Lester (1980) "A Theory of Self-Enforcing Agreements," *The Journal of Business*, 53 (1): 27 - 44 (January 1980). **140**

Thaler, Richard (1992) *The Winner's Curse: Paradoxes and Anomalies of Economic Life*, New York: The Free Press (1992). **65, 361**

Thisse, Jacquas. See d'Aspremont et al. (1979).

Tirole, Jean (1986) "Hierarchies and Bureaucracies: On the Role of Collusion in Organizations," *The Journal of Law, Economics, and Organization*, 2 (2): 181 - 214 (Fall 1986). **218**

Tirole, Jean (1988) *The Theory of Industrial Organization*, Cambridge, MA: MIT Press (1988). **xxiv, xxiv, 65, 455**

Tirole, Jean. See Freixas et al. (1985), Fudenberg & Tirole (1983, 1986a, 1986b, 1988, 1991a, 1991b), Laffont & Tirole (1986, 1993), and Maskin & Tirole (1987).

To, Ted. See Feltovich, Harbaugh, & To (2002).

Tooby, John. See Cosmides & Tooby (1993).

Topkis, Donald (1998) *Supermodularity and Complementarity*, Princeton: Princeton University Press (1998). **484**

Tsebelis, George (1989) "The Abuse of Probability in Political Analysis: The Robinson Crusoe Fallacy," *The American Political Science Review*, 83 (1): 77 - 91 (March 1989). **100**

Tucker, Albert (1950) "A Two-Person Dilemma," Stanford University mimeo. May 1950. Reprinted in Straffin (1980). Reprinted in Rasmusen (2001). **1, 33**

Tucker, Albert. See Kuhn & Tucker (1953).

Tukey, John (1949) "A Problem in Strategy," *Econometrica*, (supplement),

17: 73 (abstract) (July 1949). **101**

Tukey, John. See McDonald & Tukey (1949).

Tullock, Gordon (1967) "The Welfare Costs of Tariffs, Monopolies, and Theft," *The Western Economic Journal*, 5 (3): 224 - 232 (June 1967). **76**

Tullock, Gordon (1980) "Efficient Rent-Seeking," in *Toward a Theory of the Rent-Seeking Society*, James Buchanan, G. Tollison & Gordon Tullock, eds. , pp. 97 - 112. College Station, TX: Texas A&M University Press (1980). **402**

Tversky, Amon. See Kahneman, Slovic, & Tversky (1982).

Umbeck, John. See Staten & Umbeck (1986).

Van Damme, Eric (1989) "Stable Equilibria and Forward Induction," *The Journal of Economic Theory*, 48 (2) : 476 - 496 (August 1989). **173, 176**

Van Damme, Eric (2002) "Strategic Equilibrium," in the *Handbook of Game Theory with Economic Applications*, *vol. 3*, Chapter 41, pp. 1521 - 1596, Elsevier (2002). Also: http://greywww. kub. nl: 2080/greyfiles/center/2000/doc/115. pdf.

Varian, Hal (1992) *Microeconomic Analysis*, 3rd edition. New York: W. W. Norton, 1992 (2nd edition 1984) (1992). **xxv, 65, 293, 473**

Vickrey, William (1961) "Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders," *The Journal of Finance*, 16 (1): 8 - 37 (March 1961). **295, 398, 403**

Vickrey, William (1964) *Microstatics*, New York: Harcourt, Brace and World (1964). **444**

Vives, Xavier (1990), "Nash Equilibrium with Strategic Complementarities," *The Journal of Mathematical Economics*, 19: 305 - 321. **102**

Vives, Xavier (2000) *Oligopoly Pricing*, Cambridge, MA: MIT Press (2000). **xxvii**

Vives, Xavier (2005) "Complementarities and Games: New Development," *The Journal of Economic Literature*, 63 (2): 437 - 479 (June 2005) **95, 454, 484**

Von Neumann, John (1928) "Zur Theorie der Gesellschaftspiele," *Mathematische Annalen*, 100: 295 - 320 (1928). Translated by Sonya Bargmann as "On the Theory of Games of Strategy," pp. 13 - 42 of Luce & Tucker (1959). **135**

Von Neumann, John & Oskar Morgenstern (1944) *The Theory of Games in Economic Behavior*, New York: Wiley (1944). **1, 6, 51, 101**

Waldegrave, James (1713) "Excerpt from a Letter," (with a preface by Harold Kuhn), in Baumol & Goldfeld (1968). **98**

Waldman, Michael (1987) "Noncooperative Entry Deterrence, Uncertainty, and the Free Rider Problem," *The Review of Economic Studies*, 54 (2): 301 - 310 (April 1987). **230**

Waldman, Michael. See Haltiwanger & Waldman (1991).

Watson, Joel (2002) *Strategy: An Introduction to Game Theory*, W. W. Norton & Co. (2002). xxvii

Weber, Robert. See Milgrom & Weber (1982).

Weiner, E. (1984) *The Oxford Guide to the English Language*, Oxford: Oxford University Press (1984). **7**

Weintraub, E. Roy, ed. (1992) *Toward a History of Game Theory*, Durham: Duke University Press (1992). **6, 34**

Weiss, Andrew (1990) *Efficiency Wages*, Princeton: Princeton University Press (1990). **236**

Weiss, Andrew. See Guasch & Weiss (1980), Stiglitz & Weiss (1981, 1989).

Weitzman, Martin (1974) "Prices vs. Quantities," *The Review of Economic Studies*, 41 (1): 477 - 491 (October 1974). **468**

Welch, Ivo. See Bikhchandani, David Hirshleifer, & Welch (1992).

Weston, J. Fred. See Copeland & Weston (1988).

Whinston, Michael. See Bernheim et al. (1987), Bernheim & Whinston (1987), and Mas-Colell, Whinston, & Green (1994).

White, E. B. See Strunk & White (1959).

Wicksteed, Philip (1885) *The Common Sense of Political Economy*, New York: Kelley (1950). **4**

Wiley, John, Eric Rasmusen, & Mark Ramseyer (1990) "The Leasing Mo-

nopolist," *UCLA Law Review*, 37: 693–732 (April 1990). **469**

Williamson, Oliver (1975) *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications: A Study in the Economics of Internal Organization*, New York: Free Press (1975). **218**

Willig, Robert. See Schmalensee & Willig (1989).

Wilson, Charles (1980) "The Nature of Equilibrium in Markets with Adverse Selection" *The Bell Journal of Economics*, 11 (1): 108 – 130 (Spring 1980). **254, 234**

Wilson, Robert (1969) "Competitive Bidding with Disparate Information" *Management Science* 15 (7): 446–448 (March 1969). **429**

Wilson, Robert (1979) "Auctions of Shares," *The Quarterly Journal of Economics*, 93 (4): 675–689 (November 1979). **429**

Wilson, Robert (1993) *Nonlinear Pricing*, Oxford: Oxford University Press (1993). **315**

Wilson, Robert (unpublished) Stanford University 311b Course notes. **168**

Wilson, Robert. See Kennan & Wilson (1993), Kreps & Wilson (1982a, 1982b), and Kreps et al. (1982).

Winter, Ralph. See Mathewson & Winter (1985).

Wolfstetter, Elmar (1999) *Topics in Microeconomics: Industrial Organization, Auctions, and Incentives*, Cambridge: Cambridge University Press (1999). See also http://www. wiwi. huberlin. de/~ wolf/chap-08-new. pdf. **xxvii, 396, 405, 428, 428**

Wolinsky, Asher. See Binmore et al. (1986).

Wydick, Richard (1978) "Plain English for Lawyers," *California Law Review*, 66: 727–764 (1978). **7**

Yellen Janet. See Akerlof & Yellen (1986).

Zahavi, Amotz (1975) "Mate Selection: A Selection for a Handicap," *The Journal of Theoretical Biology*, 53 (1): 205–214 (September 1975). **348**

Zamir, S. See Mertens & Zamir (1985).

Zapechelnyuk, Andriy. See Dubey, Haimanko, & Zapechelnyuk (2002).

Zenger, Todd. See Rasmusen & Zenger (1990).

Von Zermelo, E. (1913) "Uber eine Anwendung der Mengenlehre auf die Theorie des Schachspiels," *Proceedings, Fifth International Congress of Mathematicians*, 2: 501 - 504 (1913). Reprinted in Rasmusen (2001) in the translation by Ulrich Schwalbe and Paul Walker, "On an Application of Set Theory to the Game of Chess."

Zimmerman, Jerold. See Gaver & Zimmerman (1977).

主题索引

Absolute value，绝对值，473
Action，行动，13
Action combination，行动组合，13
Action set，行动集，13
Advertising，广告，348，350
Affiliation，关联，425
Affine transformation，仿射变换，82
Agent，代理人，182
All-pay auctions，全付拍卖，399
Almost perfect information，近似完美信息，65
Amazon auction，亚马逊拍卖，391
Anonymity，匿名性，360
Argentina，阿根廷，1
Ascending auction，升价拍卖，390
Assumptions，假定，2
Assurance game，信任博弈，35
Asymmetric information，非对称信息，51
Auction，拍卖，127
Auctions，拍卖
  all-pay，全付，399

Amazon，亚马逊，391
ascending auction，升价拍卖，390
common-value，共同价值，387
descending，降价式，398
dollar，美元，402
Dutch，荷兰式，398
eBay，391
English auction，英国式拍卖，390
first-price，一级价格，392
first-price sealed-bid，最高价格密封出价，392
loser-pays，输者支付，402
open-cry auction，公开喊价拍卖，390
open-exit auction，公开退出拍卖，390，391
private-value，私人价值，386
second-price，二级价格，397
second-price sealed-bid，次高价格密封叫价，397
silent-exit，沉默退出，391
Vickrey，维克瑞，397
Auditing，审计，100
Authority (medium)，权威（中等难度），205
Axelrod tournament，阿克塞尔罗德竞赛，169

Backward induction，逆向归纳法，129
Bagehot Model，巴杰特模型，260
Bandit，强盗
two-armed bandit，两个武装强盗，60
Bankruptcy constraint，破产约束（问题），212，240
Bargaining，讨价还价，409，469
Battle of the sexes，性别战博弈，28，35，103
Bayesian equilibrium，贝叶斯均衡，56
Beer-Quiche game，啤酒—蛋糕博弈，174
Behavior strategy，行为策略，98
Belief，信念
posterior，后验，56

Beliefs，信念，324
common knowledge，共同知识，49，64
complete robustness，完全可靠，164
concordant，和谐，49
forward induction，前向归纳，173
intuitive criterion，直观标准，163，174
mutual knowledge，共有知识，49
out-of-equilibrium beliefs，非均衡路径的信念，159
passive conjectures，消极推测，160，163
posterior，后验，57
prior，先验，55
prior beliefs，先验信念，57
Bertrand，伯特兰，90，101，437
Best reply，最佳回复，19
Best response，最优反应，19，88
Bilateral trading，双边贸易，370
Bimatrix game，双矩阵博弈，23
Biology，生物学，123，151
Blackboxing，黑箱化，3，118
Boiling-in-oil contract，油锅合同，197
"Bottle Imp，The"，瓶妖，117
Boundary，边界，32
Bourgeois strategy，自由民策略，146
Branch，枝，43
Bridge，桥牌，98
Brouwer fixed point theorem，布劳威尔不动点定理，484
Budget-balancing constraint，预算平衡约束，228，295
Burning money，烧钱，173

Capacity，生产能力，468
Capacity constraints，生产能力约束，437
Cardinal utility，基数效用，33
Cascade model，瀑布模型，61
Certainty，确定性，50

Chainstore paradox，连锁店悖论，129
Chatterjee-Samuelson Mechanism，恰特尔杰-萨缪尔森机制，375
Cheap talk，廉价交谈，80，286
Chicken，斗鸡，99，358
Closed interval，闭区间，474
Closed loop，闭循环，122
Cloud，云，46
Co-opting，吸收，236
Coalition，联盟，380
Coalition-proof Nash equilibrium，抗联盟纳什均衡，120
Coarsening，粗化，47
Coarser，较粗的，47
Coase conjecture，科斯猜想，469
Coinsurance，共同保险，225
Colonel Blotto games，布洛特上校博弈，101
Common knowledge，共同知识，49，64，176
Common-value auction，共同价值拍卖，387
Communication，沟通，33
Compact，紧的，475
Comparative statics，比较静态，449
Competition constraint，竞争约束，247
Competitive fringe，竞争边缘，101
Complementary inputs，互补性投入，453
Complements，strategic，策略互补，102
Complete information，完全信息，51，53
Complete robustness，完全可靠，164
Completely mixed，完全混合，70
Concave function，凹函数，476
Concordant beliefs，和谐信念，49
Conditional likelihood，条件概率，57
Congestion，拥挤，468
Constraint，约束
  bankruptcy，破产，212，240
  budget-balancing，预算，228，295

capacity，生产能力，437
competition，竞争，247
incentive compatibility，激励相容，139，194，245
individual rationality constraint，个人理性约束，195，203
interim participation，临时参与，269
nonpooling constraint，非混同约束，323
nonseparating constraint，不分离约束，247
participation constraint，参与约束，194，203，245
self-selection，自选择，245
Continuous function，连续函数，476
Continuous strategy space，连续的策略空间，87
Continuum，连续统，476
Contract，合同
boiling-in-oil，油锅，197
efficiency wage，效率工资，211，235
first-best，最优，194
forcing，强制性，187
full-insurance，完全保险，225
linear，线性的，187
menu of contracts，合同菜单，292
second-best，次优，194，237
selling the store，全盘出售，199
shifting support scheme，移动支持计划，199
threshold，临界值，187
Contractible，可合同化的，192
Contraction，收缩，476
Contribution games，贡献博弈，83
Convex function，凸函数，476
Convex set，凸集，476
Cooperate，合作，34
Cooperative game，合作博弈，21，88
Coordination games，协调博弈，29，83
Correlated strategies，相关策略，80
Correspondence，对应，476

Countersignalling，反信号传递，345
Cournot，古诺，87，94，102，104，175，433，467，470
Cournot-Nash equilibrium，古诺-纳什均衡，89
Cream skimming，去脂，257
Cross-checking，交叉检验，87
Cumulative density function，累计密度函数，481

Decision theory，决策论，12
Decision tree，决策树，15
Deductible，扣除的，225
Defect，背叛，34
Descending auction，降价拍卖，398
Deviations，偏离，34
Differential games，微分博弈，99
Differentiated Bertrand game，异质产品的伯特兰博弈，449，470
Differentiation，异质
 vertical differentiation，垂直差异化，454
Dimensionality，维数，132
Discontinuous reaction function，不连续的反应函数，97
Discoordination games，非协调博弈，83
Discount factor，贴现因子，486
Discount rate，贴现率，486
Discounting，贴现，131，486
Discrete strategy space，离散策略空间，87，96
Dollar Auction，美元拍卖，402
Dominance，优势，20
 stochastic，随机的，203，489
Dominance solvable，优势可解的，24
Dominant strategy，优势策略，20
Dominant-strategy equilibrium，优势策略均衡，20
Dominant-strategy mechanism，占优策略机制，295
Dominated，劣的
 weakly，弱的，23
Dominated strategy，劣策略，20

dominate，优于，489
Double auction mechanism，双边拍卖机制，372
Double-sided moral hazard，双边道德风险，202
Duels，决斗，77，124
Durable monopoly，耐用品垄断，462
Dutch auction，荷兰式拍卖，398
Dynamic consistency，动态一致性，122
Dynamic programming，动态优化，473

eBay auction，eBay 拍卖，391
Edgeworth paradox，艾奇沃斯悖论，437，440
Efficiency wages，效率工资，211，235，241
Efficient rationing，有效配给，437，468
End node，终点结，43
End point，终点，43
English auction，英国式拍卖，390
Entry deterrence，进入威慑，111
epsilon equilibrium，ε 均衡，148
Equilibrium，均衡，18
  Bayesian，贝叶斯，56
  Bertrand equilibrium，伯特兰均衡，90
  coalitionproof equilibrium，抗联盟纳什均衡，120
  Cournot-Nash equilibrium，古诺-纳什均衡，89
  epsilon，ε，148
  iterated-dominance equilibrium，重复剔除的优势均衡，23
  maximin equilibrium，最大最小均衡，134
  Nash equilibrium，纳什均衡，26
  perfect Bayesian equilibrium，完美贝叶斯均衡，158，159，173
  perfect Markov equilibrium，完美马尔可夫均衡，142
  pooling equilibrium，混同均衡，163，247
  separating equilibrium，分离均衡，161，163，246，247
  sequential equilibrium，序贯均衡，158
  Stackelberg equilibrium，斯塔尔伯格均衡，101，123
  strong equilibrium，强均衡，117

subgame perfect equilibrium，完美子博弈均衡，109
weak equilibrium，弱均衡，117
weak-dominance equilibrium，弱优势均衡，23
Equilibrium concept，均衡概念，18
Equilibrium outcome，均衡结果，18
Equilibrium path，均衡路径，108，171
Equilibrium point，均衡点，35
Equilibrium refinement，均衡精炼，28
Equilibrium strategies，均衡策略，18
ESS，进化上的稳定策略，143
Evolutionarily stable strategy，进化上的稳定策略，143
Evolutionary dynamics，进化动力学，147
Exemplary theory，实例性理论，2
Exemplifying theory，实例化理论，2
Existence，存在性，95，434，467
Expected externality mechanism，预期的外部机制，377
Exponential distribution，指数分布，481
Extensive form，扩展式，43
Extrinsic uncertainty，外在的不确定性，80

Feedback，反馈，122
Finer，较细的，47
First-best contract，最优合同，194
First-mover advantage，先动优势，29，94
First-order condition，一阶条件，72
First-order condition approach，一阶条件方法，195
First-order stochastic dominance，一阶随机优势，489
First-price auction，一级价格拍卖，392
First-price sealed-bid auction，最高价格密封出价拍卖，392
Fixed point theorems，不动点定理，473，484
Brouwer fixed point theorem，布劳威尔不动点定理，484
Kakutani fixed point theorem，角谷不动点定理，485
Focal points，聚点，32
Folk theorem，无名氏定理，131

Forcing contract，强制性合同，187
Ford，Henry，亨利·福特，264
Forgiving，宽容，170
Forward induction，前向归纳，173
Four P's，4P，93
Full insurance，完全保险，225
Fully insured，全保险，223
Fully revealing，完全显示的，248

Game theory，博弈论，11
  history，历史，6，34
Game tree，博弈树，16，43
Games，博弈
  bimatrix games，双矩阵博弈，23
  Colonel Blotto games，布洛特上校博弈，101
  contribution games，贡献博弈，83
  cooperative games，合作博弈，88
  coordination games，协调博弈，29，83
  differential games，微分博弈，99
  discoordination games，非协调博弈，83
  matrix games，矩阵博弈，23
  nonzero-sum games，非零和博弈，25
  one-shot games，一次性博弈，129
  timing games，博弈的时间安排，77
  two-by-two games，2×2 博弈，81
  variable-sum games，可变和博弈，25
  zero-sum games，零和博弈，25
Gang of Four Models，"四人帮"模型，167，172
Generically，一般地，476，485
Good news，好消息，489
Gratitude，感恩，150
Greatest lower bound，最大下界，475
Gresham's law，格雷欣法则，269
Grim strategy，冷酷策略，130

Groves Mechanism，格罗夫斯机制，293，318

Harsanyi doctrine，海萨尼教义，54
Hawk-Dove game，鹰鸽博弈，144
Hazard rates，风险率，490
High-to-low rationing，从高到低配给，437
History of game theory，博弈论历史，6
Hold-up potential，要挟潜能，218
Hotelling location game，霍特林区位博弈，446
Hotelling pricing game，霍特林价格博弈，442

Imperfect information，不完美信息，49
Implicit function theorem，隐函数定理，186，450
Incentive compatibility constraint，激励相容约束，139，194，245
Incomplete information，不完全信息，51，53
Incomplete information folk theorem，不完全信息的无名氏定理，169
Increasing differences in parameters，参数递增可微，453，483
Increasing differences in strategies，策略的递增可微，453
Independence，独立，387
Independence of irrelevant alternatives，独立于无关选择，360
Indifference curves，无差异曲线，186，303
Individual rationality constraint，个人理性约束，195，203
Induction，归纳
  backward，逆向归纳，129
  forward，前向归纳，173
Infimum，下确界，475
Infinite horizon model，无限期模型，137
Information，信息
  almost perfect information，近似完美信息，65
  asymmetric information，不对称信息，51
  certainty，确定性，50
  complete information，完全信息，51，53
  imperfect information，不完美信息，49
  incomplete information，不完全信息，51，53

perfect information，完美信息，49
private information，私人信息，51
symmetric information，对称信息，51
uncertainty，不确定性，50
Information partition，信息分割，47
Information set，信息集，14，45
Informational rent，信息寻租，296，311
Informed player，知情者，182
Insurance，保险，203，222，264，274
Integration by part，分部积分，477
Intensity rationing，强度配给，437，438
Interbuyer price discrimination，顾客间价格歧视，296，299
Interim participation constraints，临时的参与约束，269
Interquantity price discrimination，数量间价格歧视，296
Interval，区间
closed interval，闭区间，474
open interval，开区间，474
Intuitive criterion，直观标准，163，174
Invade，入侵，143
Invariance，不变性，359
Inverse-intensity rationing，反需求强度配给，438
Invertible，可逆的，194
Irrationality，非理性，123
Iterated-dominance equilibrium，重复剔除优势均衡，23

Kakutani fixed point theorem，角谷不动点定理，485
Kyle model，凯尔模型，261

Lattice，格，477
Least upper bound，上确界，475
Least-cost avoider principle，最低成本避免者原则，217
Likelihood，概率，57
conditional，条件概率，57
marginal，边际概率，56，57

Limit pricing，限制性定价，175
Linear contract，线性合同，187
Linear equilibrium，线性均衡，373
Linkage principle，联结原理，427
Location models，区位模型，441
Lognormal distribution，对数分布，482
Loser-pays auction，输者支付拍卖，402
Low-to-high rationing，从低到高配给，439

Madman theory，疯子理论，123
Marginal likelihood，边际概率，56，57
Marginal revenue approach，边际收益方法，409
Markov strategy，马尔可夫策略，98，142
Marshall，Alfred，阿尔弗雷德·马歇尔，6
Maskin Matching Scheme，马斯金匹配计划，279
Matrix game，矩阵博弈，23
Maximand，最优化目标，478
Maximin equilibrium，最大最小均衡，134
Maximin strategy，最大最小策略，133
Mean-preserving spread，均值不变展形，478，489
Measure zero，零测度，478
Mechanism，机制，370
  Chatterjee-Samuelson，恰特尔杰-萨缪尔森，375
  dominant-strategy，占优策略，295
  double auction，双边拍卖，372
  expected externality，预期的外部，377
Mediation，调解，33
Menu of contracts，合同菜单，292
Metric，度量，478
Minimax payoff，最小最大支付，132
Minimax strategies，最小最大策略，132
Minimax theorem，最小最大定理，135
Minimax value，最小最大值，132
Mixed extension，混合扩展，70

Mixed strategy，混合策略，69
Mixing density，混合概率密度，395
Monitoring，监督，100，232，238
Monotone likehood ratio property，单调似然率性质，203
Monty Hall，下注，66
Moral hazard，道德风险，192
  double-sided，双边的，202
Moral hazard with hidden knowledge，隐藏知识的道德风险，277
Move，活动，13
Multiple equilibria，多重均衡，19，335
Mutual knowledge，共有知识，49
Myerson-Satterthwaite model，迈尔森-萨特思韦特模型，369，383

Nash bargaining solution，纳什讨价还价解，359，382
Nash equilibrium，纳什均衡，26
Nature，自然，13
New York，纽约，32
Niceness，适意性，169
No-fat modeling，无脂建模，2
Node，结，43，64
  end node，终点结，43
  end point，终点，43
  predecessor，前续结，43
  starting node，起始结，43
  successor，后续结，43
Noisy duel，有声决斗，77
Nonconcave payoff function，非凹的支付函数，97
Nonconvex strategy space，非凸的策略空间，96
Noncooperative game，非合作博弈，21
Nonlinear pricing，非线性定价，296，300
Nonpooling constraint，非混同约束，247，323
Nonresponders，非反应者，468
Nonseparating constraint，不分离约束，247
Nonverifiable，不可证实的，224，280

Nonzero-sum game，非零和博弈，25
Normal distribution，正态分布，482
Normal form，标准式，41

Oligopoly，寡头，471，472
One-price equilibrium，单一价格均衡，373
One-shot game，一次性博弈，129
One-sided asymmetry，单向不对称，381
One-sided prisoner's dilemma，单边囚徒困境，34，136
One-to-one，一一对应，478
Open interval，开区间，474
Open loop，开循环，122
Open strategy space，开的策略空间，96
Open-cry auction，公开喊价拍卖，390
Open-exit auction，公开退出拍卖，390
Open-set problem，开集问题，24，117
Opportunism，机会主义，218
Order of play，博弈顺序，14，43
Ordinal utility，序数效用，33
Out-of-equilibrium behavior，均衡之外的行为，63，173
Out-of-equilibrium belief，非均衡信念，159
  complete robustness，完全可靠，164
  forward induction，前向归纳，173
  intuitive criterion，直观标准，163，174
  passive conjectures，消极推测，163
Outcome，结果，15
Outcome matrix，结果矩阵，41
Overlapping generations model，迭代模型，141，151
Overtaking criterion，赶超标准，148

Pareto，帕累托
  strongly Pareto-dominates，强帕累托占优，21
  weekly Pareto-dominates，弱帕累托占优，21
Pareto perfection，帕累托完美，120

Pareto-efficient，帕累托有效，22
Partial adverse selection，部分逆向选择，252
Partial insurance，部分保险，225
Participation constraint，参与约束，194，203
Partition，分割
  information，信息，47
Passive conjectures，消极推测，160，163
Path，路径，43
  equilibrium，均衡，108，171
Payoff，支付，13，97
  minimax payoff，最小最大支付，132
Payoff-equating method，支付均等化方法，74
Peacock's tail，雄孔雀的尾巴，348
Perfect Bayesian equilibrium，完美贝叶斯均衡，158，159，173
Perfect information，完美信息，49
Perfect Markov equilibrium，完美马尔可夫均衡，142
Perfect price discrimination，完全价格歧视，296，298
Perfect recall，完美回忆，98
Perfection，完美性，122
Perfectness，完美
  perfect Bayesian equilibrium，完美贝叶斯均衡，158，159，173
  subgame perfectness，子博弈完美，18，108
  trembling-hand perfectness，颤抖的手完美，158
Perpetuity，永续年金，478
Philosophy，哲学，35
Player，参与人，13
  Nature，自然，13
  pseudo-players，虚拟参与人，13
Pliny，普里尼，124
Poker，扑克牌，52
Police game，警察博弈，100
Pooling equilibrium，混同均衡，163，247
Postcontractual adverse selection，签约后的逆向选择，277
Posterior belief，后验信念，56，57

Predecessor，前续结，43
Price cap，最高限价，304
Price discrimination，价格歧视，181，296，315，318，382，471
interbuyer，顾客间，296，299
interquantity，数量间，296
nonlinear pricing，非线性定价，296，300
perfect，完全，296，298
Price dispersion，价格发散，263
Principal，委托人，182，201
Principal-agent model，委托—代理模型，182
Prior beliefs，先验信念，55，57
Prisoner's dilemma，囚徒困境，20
one-sided prisoner's dilemmas，单边的囚徒困境，136
Private information，私人信息，51
Private-value auction，私人价值拍卖，386
Procurement，采购，316
Producers，The，《制作人》，195
Profile，strategy，组合，策略，17
Proof，证明，4
proportional rationing，比例配给，439
Provocability，应激性，169
Pseudo-players，虚拟参与人，13
Pure strategy，纯策略，69

Quadratic formula，二次方程，479
Quadratic utility function，二次效用函数，102
Quality，质量，138
Quantity discount，数量折扣，315
Quasi-concave，拟凹，478
Quasilinear utility，拟线性效用，478

Rao-Blackwell Theorem，劳-布莱克威尔定理，203
Ratchet effect，棘轮效应，315，319
Rate-of-return regulation，收益率规制，304

Rational expectations，理性预期，35
Rationalizable strategy，可理性化策略，35
Rationing，配给，437
  efficient rationing，有效配给，437，468
  high-to-low rationing，从高到低配给，437
  intensity rationing，强度配给，437，438
  inverse-intensity rationing，反强度配给，438
  low-to-high rationing，从低到高配给，439
  proportional rationing，比例配给，439
Reaction functions，反应函数，88，434
  discontinuous reaction functions，不连续的反应函数，97
Realizations，真实值，13
Rebel Without a Cause，《无理反叛》，99
Recoordination，再协调，120
Refinement，精炼，17
Refinements equilibrium，精炼均衡，28，324
Regression to the mean，对均值的回归，60
Renegotiation，重新谈判，218
Renegotiationproofness，抗再谈判，120
Rent dissipation，租金耗散，402
Rents，租金
  informational，信息，296
Repeated prisoner's dilemma，重复囚徒困境，129，177
Reports，报告，370
Reputation，声誉，136
Reservation utility，保留效用，185，195
Reserve price，保留价格，409
Residual claimant，剩余索取者，199
Responders，反应者，468
Revelation principle，显示原理，282，314
Revenue equivalence theorem，收益等价性原理，403
Risk，风险，487
Risk aversion，风险规避，115，194，241，255
Risk neutral，风险中性，487

Schelling, Thomas，托马斯·谢林，32
Scissors-Paper-Stone，石头剪子布，98
Screening，甄别，330，348
Second-best contract，次优合同，194，237
Second-order stochastic dominance，二阶随机优势，489
Second-price auctions，次高价格拍卖，397
Second-price sealed-bid，次高价格密封出价，397
Security value，安全值，132
Self-selection constraint，自选择约束，245
Selling the store，全盘出售，199
Sender-receiver game，发送者—接收者博弈，284
Separating equilibrium，分离均衡，161，163，246，247
Sequential equilibrium，序贯均衡，158
Serially undominated，逐次非劣势的，24
Service flow，服务流，462
Settlement range，私了区域，116
Shapley value，夏普利值，380
Share auction，份额拍卖，428
Shaw, George Bernard，乔治·萧伯纳，4
Shifting support scheme，移动支持计划，199
Signal jamming，信号干扰，341，342，351
Signalling，信号传递，320，348
Silent duel，无声决斗，77
Silent-exit auction，沉默退出拍卖，391
Single-crossing property，单交点性质，301，302，324
Singleton，单结的，47
Slack，懈怠，237
Smooth supermodular game，平滑的超模博弈，453
Smooth supermodularity，平滑超模性，482
Soccer，足球，98
Solution concept，解的概念，18
Splitting a pie，分馅饼，357
Stability，稳定性，89
Stackelberg equilibrium，斯塔尔伯格均衡，89，101，123

Stackelberg follower，斯塔尔伯格跟随者，89
Stackelberg game，斯塔尔伯格博弈，94
Stackelberg leader，斯塔尔伯格领导者，89
Stackelberg warfare，斯塔尔伯格战争，101
Starting node，始点，43
State of the world，世界状态，53
State-space diagram，状态空间的图形，222，274
Stationary，静态的，172
Stochastic dominance，随机优势，203，489
Strategic complements，策略互补，94，102，453
Strategic form，策略式，41
Strategic substitutes，策略替代，94，102
Strategically equivalent，策略等价，398
Strategy，策略，17
  behavior，行为，98
  bourgeois，自由民，146
  completely mixed，完全混合，70
  correlated strategy，相关策略，80
  evolutionarily stable strategy，进化上的稳定策略，143
  grim，冷酷，130
  Markov strategy，马尔可夫策略，98，142
  maximin，最大最小，133
  minimax，最小最大，132
  mixed，混合，69
  pure，纯，69
  rationalizable，可理性化，35
  tit-for-tat，针锋相对，130，147，167，169
  trigger，触发，149
  weakly-dominant，弱优势策略，23
Strategy combination，策略联合，17
Strategy profile，策略组合，17
Strategy set，策略集，17，111
Strategy space，策略空间，17
  discrete，离散的，87，96

nonconvex，非凸的，96
open，开的，96
unbounded，无界的，96
Strict，严格的，479
Strong equilibrium，强均衡，117
Strongly Pareto-dominates，强帕累托占优，21
Subgame，子博弈，109，157
Subgame perfect Nash equilibrium，完美子博弈纳什均衡，109
Subgame perfectness，子博弈完美，18，108
Substitutes， strategic，替代策略，94，102
Successor，后续结，43
Sufficient statistic condition，充足统计量条件，197，202
Summation，加总，473
Sunspot models，太阳黑子模型，80
Supergame，超博弈，149
Supermodular games，超模博弈，449，482
Supermodularity，超模性，95，452，482
Support，支撑集，479
Supremum，上确界，475
Swiss Cheese Game，瑞士象棋博弈，82
Switching costs，转换成本，141
Symmetric information，对称信息，51
Synergism，整合，468

Take-it-or-leave-it，要么接受—要么放弃，185
Team，团队，227，240
Team theory，团队理论，238
Tender Trap，温柔陷阱，35
Testing，测试，266，272，273
Three-step procedure，三步法，195
Threshold contract，临界值合同，187
Time consistency，时间一致性，122
Time line，时间线，44
Timing games，博弈的时间安排，77

Tit-for-Tat，针锋相对，130，147，167，169
Tournaments，竞赛/锦标赛，101，214，236
Tremble，颤抖，99，110
Trembling-hand perfectness，颤抖的手完美，158
Trigger strategies，触发策略，149
Triopoly，三个集团垄断，104
Truth-telling，讲真话，283
Tucker，Albert，艾伯特·塔克，33
Two-Armed Bandit，两个武装强盗，60
Two-by-two games，2×2 博弈，20，33，81
Two-part tariff，两部收费制，318
Two-sided asymmetry，双向不对称，381
Type，类型，53

Ultimatum game，最后通牒博弈，358
Unbounded strategy space，无界的策略空间，96
Uncertainty，不确定性，50
Uniform distribution，均匀分布，481
Uniformed player，知情者，182
Uniqueness，唯一性，19，103
Unobservable，不可观测的，224
Unravelling，披露，281
Utility，效用
cardinal，基数，33
ordinal，序数，33
quadratic，二次式的，102
quasilinear utility，拟线性效用，478
reservation，保留，185，195
von Neumann-Morgenstern utility functions，冯·诺伊曼-摩根斯顿效用函数，51，65

Value，值
minimax value，最小最大值，132
Variable-sum game，可变和博弈，25

Vengeance，复仇，150
Verifiable，可证实的，192
Vertical differentiation，垂直差异化，454
Vickrey auction，维克瑞拍卖，397
von Neumann-Morgenstern utility，冯·诺伊曼-摩根斯顿效用函数，51，65
Voting，投票，125

The Wallet Game，钱夹博弈，424
War of Attrition，消耗战，76，99，107，402
Weak，弱，479
Weak equilibrium，弱均衡，117
Weak-dominance equilibrium，弱优势均衡，23
Weakly dominant strategy，弱优势策略，23
Weakly dominated，弱劣于，23
Weakly Pareto-dominates，弱帕累托占优，21
Wicksteed，威克斯第德，4
Winner's Curse，赢家诅咒，408，414，429

Yardstick competition，标尺竞争，214

Zero-sum game，零和博弈，25

译后记

2007年10月，梁晶工作室邀请我组织翻译拉斯穆森的《博弈与信息：博弈论概论》（第四版）。我一直从事博弈论的教学和研究工作，故欣然接受了。

这本书的第二版有中译本，由姚洋老师主持翻译，梁晶工作室和北京大学出版社联合出版。第四版与第二版相比，至少改动了三分之一的内容。有些章节是新的（第10章），有些章节几乎是重写了（第13章）。在我们翻译的过程中，尽量与第二版的中文翻译保持一致，改动和新加的内容我们也力争做到风格统一。

我给研究生和本科生讲授"博弈论"课程，对国外教材相对比较熟悉。坦诚地说，在翻译此书之前，对于本书的第二版我只是粗粗翻过，没有细读。而随着翻译的进行，我心中不禁暗暗感叹，这真是一本优秀的教科书！

《博弈与信息：博弈论概论》（第四版）没有遵循传统博弈论教科书按照完全信息静态博弈、完全信息动态博弈、不完全信息静态博弈、不完全信息动态博弈这一顺序讲解非合作博弈。全书分为三个部分：第一部分是博弈论，介绍非合作博弈的基本理论和模型；第二部分是非对称信息，介绍信息经济学的内容（这是不完全信息博弈应用的一个重要领域）；第三部分是应用，着重于博弈论在拍卖和产业组织理论中的一些应用。三个部分既相对独立，又相互呼应。

许多非合作博弈中容易引起困惑和不解的问题，作者深入浅出，都交代得非常清楚。如第2章关于信息的论述。信息是博弈论最重要的概念之一，作者将完美信息、确定信息、对称信息、完全信息的概念区分得非常清楚。

又如第二部分的非对称信息，完全可以作为信息经济学的教科书来使用。精彩之处举不胜举，希望读者自己细细品味。

本书的翻译工作分工如下：张倩伟翻译前言、引言及第 1～6 章，庞立永翻译第 7～11 章，李长卿翻译第 12 章和专业词汇，张中元翻译第 13、14 章和数学附录，韩松翻译书中所有图表和目录，并校对了全书。

感谢梁晶工作室的信任和帮助，感谢梁晶工作室张红老师在校对工作中付出的辛勤工作。

韩　松

2009 年 2 月

Games and Information: An Introduction to Game Theory/E. Rasmusen
ISBN: 9781405136662
This edition is published by arrangement with **Blackwell Publishing Ltd**, Oxford.
Translated by **China Renmin University Press** from the original English language version.
Responsibility of the accuracy of the translation rests solely with **China Renmin University Press** and is not the responsibility of **Blackwell Publishing Ltd.**

[General Information]
书名=博弈与信息博弈论概论　第4版
作者=艾里克·拉斯穆森著
页数=641
SS号=12394764
出版日期=2009.09

封面
书名
版权
前言
目录
引言
历史
博弈论的方法
实例化理论
本书的风格
注
第一部分　博弈论第1章　博弈的规则
1.1　基本定义
1.2　劣策略和优势策略：囚徒困境
1.3　重复剔除优势：俾斯麦海之战
1.4　纳什均衡：智猪博弈、性别战和协调博弈
1.5　聚点
注
习题
渔场：第1章的课堂博弈
第2章　信息
2.1　博弈的策略式和扩展式
2.2　信息集
2.3　完美信息、确定信息、对称信息与完全信息
2.4　海萨尼转换与贝叶斯博弈
2.5　例子：潘格赔偿博弈
注
习题
酒吧中的贝叶斯法则：第2章的课堂博弈
第3章　混合策略与连续策略
3.1　混合策略：福利博弈
3.2　支付均等化方法与时间安排博弈
3.3　一般参数且有N个参与人情况下的混合策略：市民责任博弈
3.4　随机化并不总是混合的：审计博弈
3.5　连续策略：古诺博弈
3.6　连续策略：伯特兰博弈、策略互补和策略替代
3.7　均衡的存在性
注

习题
消耗战：第3章的课堂博弈
第4章　对称信息动态博弈
4.1　子博弈完美
4.2　完美的一个例子：进入威慑Ⅰ
4.3　要挟诉讼博弈中的可置信威胁、沉没成本和开集问题
4.4　子博弈中帕累托优势均衡的再调整：帕累托完美
注
习题
出售美国航空：第4章的课堂博弈
第5章　对称信息下的声誉和重复博弈
5.1　有限期重复博弈和连锁店悖论
5.2　无限期重复博弈、最小最大惩罚和无名氏定理
5.3　声誉：单边囚徒困境博弈
5.4　无限次重复博弈的产品质量模型
5.5　消费者转换成本博弈中的马尔可夫均衡和交迭世代
5.6　进化均衡：鹰鸽博弈
注
习题
重复囚徒困境：第5章的课堂博弈
第6章　不完全信息动态博弈
6.1　完美贝叶斯均衡：进入威慑博弈Ⅱ、Ⅲ
6.2　完美贝叶斯均衡的再精炼：进入威慑和博士录取博弈
6.3　共同知识的重要性：进入威慑Ⅳ、Ⅴ
6.4　重复囚徒困境博弈中的不完全信息：“四人帮”模型
6.5　阿克塞尔罗德竞赛
6.6　信贷和企业年龄：戴蒙德模型
注
习题
不完全信息下的重复囚徒困境：第6章的课堂博弈
第二部分　非对称信息第7章　道德风险：隐藏行动
7.1　非对称信息模型分类
7.2　一个委托—代理模型：生产博弈
7.3　激励相容约束与参与约束
7.4　最优合同：百老汇博弈
注
习题
道德风险：第7章的课堂博弈

第8章　道德风险高级专题
8.1　效率工资
8.2　锦标赛
8.3　制度与代理问题
8.4　重新谈判：回收博弈
8.5　状态空间图：保险博弈Ⅰ和Ⅱ
8.6　多个代理人联合生产：霍姆斯特龙团队模型
8.7　多任务代理问题
注
习题
游说议员者团队：第8章的课堂博弈
第9章　逆向选择
9.1　引言：生产博弈Ⅵ
9.2　确定性下的逆向选择：柠檬货Ⅰ与Ⅱ
9.3　异质偏好：柠檬货Ⅲ与Ⅳ
9.4　不确定性下的逆向选择：保险博弈Ⅲ
9.5　市场微观结构
9.6　多种应用
9.7　逆向选择和道德风险联合：生产博弈Ⅶ
注
习题
股票销售中的逆向选择：第9章的课堂博弈
第10章　机制设计和签约后隐藏知识
10.1　机制、披露、十字交叉检验法和显示原理
10.2　迈尔森机制设计
10.3　签约后隐藏知识的例子：销售员博弈
10.4　格罗夫斯机制
10.5　价格歧视
10.6　收益率规制和政府采购
注
习题
规制棘轮：第10章的课堂博弈
第11章　信号传递
11.1　知情参与人先行动：信号传递
11.2　教育信号传递模型的各种变体
11.3　对教育中的信号传递的一般评论
11.4　知情参与人后行动：信息甄别
11.5　两个信号：新股低价发行博弈

11.6　信号干扰和极限定价
11.7　反信号传递
注
习题
结婚能力信号传递：第11章的课堂博弈
第三部分　应用第12章　讨价还价
12.1　基本的讨价还价问题：分馅饼
12.2　纳什讨价还价解
12.3　有限期的轮流出价
12.4　无限期的轮流出价
12.5　不完全信息
12.6　建立一种讨价还价的方法：迈尔森萨特思韦特模型
注
习题
工人讨价还价博弈：第12章的课堂博弈
第13章　拍卖
13.1　私人和共同价值，连续和离散估价
13.2　私人价值拍卖中不同规则下的最优策略
13.3　收益等价性、风险规避与不确定性
13.4　保留价格与边际收益方法
13.5　共同价值拍卖和赢家诅咒
13.6　非对称均衡、关联、联结：钱夹博弈
注
习题
拍卖：第13章的课堂博弈
第14章　定价
14.1　产量作为策略：古诺均衡的再讨论
14.2　生产能力约束：艾奇沃斯悖论
14.3　区位模型
14.4　比较静态分析和超模博弈
14.5　垂直差异化
14.6　耐用品垄断
注
习题
科雷特的寡头博弈：第14章的课堂博弈
数学附录
A.1　符号
A.2　希腊字母

A.3　术语表
A.4　公式与函数
A.5　概率分布
A.6　超模性
A.7　不动点定理
A.8　一般属性
A.9　贴现
A.10　风险
参考文献和人名索引
主题索引
1—1　干洗店博弈的决策树
1—2　干洗店博弈的博弈树
2—1　跟随领头羊Ⅰ的扩展式
2—2　分级协调的扩展式表述
2—3　拍卖股份博弈的时间线：（a）较好的时间线；（b）较差的时间线
2—4　信息集与信息分割
2—5　跟随领头羊Ⅱ
2—6　跟随领头羊Ⅲ：原博弈
2—7　跟随领头羊Ⅲ：在海萨尼转换之后
2—8　贝叶斯法则
2—9　潘格赔偿博弈的博弈树
3—1　新市场中的专利权争夺博弈的支付
3—2　古诺博弈中的反应曲线
3—3　斯塔尔伯格均衡
3—4　异质产品的伯特兰反应函数
3—5　古诺与异质伯特兰反应函数（策略替代与策略互补）
3—6　连续的反应函数和不连续的反应函数
4—1　跟随领头羊Ⅰ
4—2　颤抖博弈：颤抖的手和子博弈完美的对比
4—3　进入威慑Ⅰ
4—4　要挟诉讼博弈的扩展式
4—5　帕累托完美难题
5—1　维数条件
5—2　老鹰—鸽子—自由民博弈的进化动态过程
6—1　进入威慑Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ
6—2　博士录取博弈
6—3　进入威慑Ⅴ
6—4　利率随时间变化的路径

6—5　啤酒—蛋糕博弈
7—1　非对称信息模型的分类
7—2　生产博弈Ⅰ中的有效努力水平
7—3　在工资w＊下获得努力水平e＊的三个合同
7—4　代理模型中的移动支持
8—1　保险博弈Ⅰ
8—2　使用完全与部分保险的保险博弈Ⅱ
8—3　对保险博弈Ⅱ中部分保险的进一步探讨
8—4　霍姆斯特龙团队模型的合同
9—1　柠檬货Ⅰ的扩展式表示
9—2　柠檬货Ⅱ：相同偏好
9—3　买方对汽车的评价高于卖方：柠檬货Ⅲ
9—4　柠檬货Ⅳ：卖方的评价不同
9—5　保险博弈Ⅲ：不存在混同均衡
9—6　保险博弈Ⅲ的一个分离均衡
9—7　使得保险博弈Ⅲ中不存在均衡的曲线
9—8　柠檬货Ⅲ：买方对车评价更高，并且最低质量为零
10—1　销售员博弈中的混同均衡曲线
10—2　分离均衡的无差异曲线
10—3　线性和非线性定价
10—4　完全价格歧视
10—5　范里安非线性定价博弈
10—6　边际需求与平均需求
10—7　单交点性质的两个描述
10—8　为什么生产成本昂贵公司的激励相容约束不是紧的
11—1　教育Ⅵ：甄别博弈中不存在混同均衡
11—2　教育Ⅶ：在甄别博弈中不存在分离和混同纯策略均衡
11—3　信号如何随方差变化
11—4　传递给定信号的不同方式
12—1　（a）纳什讨价还价博弈；（b）分馅饼博弈
12—2　双边交易Ⅱ中的交易
12—3　单一价格均衡中的交易
12—4　线性均衡中的交易
13—1　平滑离散分布
13—2　在全付拍卖中同质投标人的投标函数
13—3　拍卖和边际收益：（a）需要保留价格及（b）不需要保留价格
13—4　从标准正态分布信号中提取信息
14—1　不同的需求曲线

14—2　多重古诺-纳什均衡
14—3　pb=30、pa＞30以及K=70时的配给规则
14—4　区位模型
14—5　霍特林定价的数字实例
14—6　霍特林区位博弈支付
14—7　三个参与人的纯策略不存在
14—8　在三个参与人区位博弈中的具有混合策略密度函数的均衡
14—9　区位混合密度均衡
14—10　区位中的均衡与效率
14—11　耐用品垄断博弈中买者在各期的边际收益
A—1　凹性和凸性
A—2　上半连续
A—3　有三个不动点的映射
A—4　贴现
A—5　均值不变展形
A—6　三种密度函数的递增风险率f(v)/［1—F(v)］图解
1—1　干洗店博弈
1—2　囚徒困境
1—3　俾斯麦海之战
1—4　剔除路径博弈
1—5　智猪博弈
1—6　建模者困境
1—7　性别战
1—8　分级协调
1—9　危险的协调
1—10　广义的囚徒困境
1—11　一个抽象博弈
1—12　风格与质地
1—13　哪个博弈？
1—14　一个3×3博弈
2—1　分级协调
2—2　跟随领头羊Ⅰ
2—3　信息分割
2—4　信息种类
2—5　贝叶斯术语
2—6　支付（A）囚徒困境
2—7　支付（B）坦白博弈
3—1　福利博弈

3—2　混合策略优于纯策略
3—3　斗鸡博弈
3—4　抓钱博弈
3—5　一般2×2博弈
3—6　具有混合策略均衡的2×2博弈
3—7　市民责任博弈
3—8　审计博弈Ⅰ
3—9　无意义的博弈
3—10　接管博弈
3—11　IMF救助
4—1　进入威慑Ⅰ
4—2　不同政策所得到的支付
5—1　最小最大策略博弈
5—2　囚徒困境博弈
5—3　声誉起重要作用时的重复博弈
5—4　乌托邦交换经济博弈
5—5　鹰鸽博弈：经济学表示法
5—6　鹰鸽博弈：生物学表示法
5—7　贝诺伊特—克里希纳博弈
5—8　进化上的稳定策略
5—9　谈话动态
5—10　抓钱博弈
5—11　抓钱博弈动态
5—12　混合最小最大博弈
5—13　囚徒困境
6—1　囚徒困境
6—2　昂贵交谈博弈中的子博弈支付
6—3　囚徒困境
7—1　委托—代理模型的应用
7—2　百老汇博弈Ⅰ：利润
7—3　百老汇博弈Ⅰ：利润的概率
7—4　百老汇博弈Ⅱ：利润
7—5　道德风险博弈
7—6　低努力与高努力下的产出
7—7　企业家全盘出售
7—8　产出和努力
7—9　产出和努力
7—10　产出函数Ⅰ

7—11　产出函数Ⅱ
8—1　幸运执行官博弈的产出
8—2　存在误差的监管
8—3　犯罪
8—4　再次犯罪
8—5　破产
8—6　团队产出
9—1　保险博弈Ⅲ的支付
9—2　两次失败者
10—1　沉默权利博弈的支付
11—1　结婚值
12—1　有限期的轮流出价
12—2　无限期的轮流出价
13—1　石油公司在竞争非常激烈的石油开采权拍卖中的投标额
13—2　大班博弈
A—1　常用函数
A—2　贴现
干洗店博弈
囚徒困境
俾斯麦海之战
剔除路径博弈
智猪博弈
建模者困境
性别战
分级协调
危险的协调
序贯囚徒困境
跟随领头羊Ⅰ
跟随领头羊Ⅱ
跟随领头羊Ⅲ
潘格赔偿博弈
合资企业
福利博弈
斗鸡博弈
消耗战
抓钱博弈
新市场中的专利权争夺
市民责任博弈

瑞士象棋博弈
审计博弈Ⅰ
审计博弈Ⅱ
审计博弈Ⅲ
古诺博弈
斯塔尔伯格博弈
伯特兰博弈
异质伯特兰博弈
凑硬币
投票悖论
阿尔巴和罗马
危险的滑冰
颤抖博弈
进入威慑Ⅰ
要挟诉讼Ⅰ
要挟诉讼Ⅱ
要挟诉讼Ⅲ
帕累托完美难题
重复的进入威慑博弈
三种方式的决斗
投票周期
连锁店悖论
重复囚徒困境博弈
产品质量
消费者转换成本博弈
鹰鸽博弈
乌托邦交换经济博弈
老鹰—鸽子—自由民博弈
交迭世代
有法律诉讼的产品质量博弈
贝诺伊特-克里希纳博弈
重复进行的进入威慑博弈
进入威慑Ⅱ
进入威慑Ⅲ
博士录取博弈
进入威慑Ⅳ
进入威慑Ⅴ
“四人帮”模型

戴蒙德模型
生产博弈Ⅰ
生产博弈Ⅱ
生产博弈Ⅲ
生产博弈Ⅳ
生产博弈Ⅴ
百老汇博弈Ⅰ
百老汇博弈Ⅱ
幸运执行官博弈
回收博弈Ⅰ
回收博弈Ⅱ
保险博弈Ⅰ
保险博弈Ⅱ
多任务博弈Ⅰ
多任务博弈Ⅱ
生产博弈Ⅵ
柠檬货Ⅰ
柠檬货Ⅱ
柠檬货Ⅲ
柠檬货Ⅳ
保险博弈Ⅲ
巴杰特模型
凯尔模型
生产博弈Ⅶ
生产博弈Ⅷ
迈尔森交易博弈
销售员博弈
街灯博弈
范里安非线性定价博弈
采购Ⅰ
采购Ⅱ
采购Ⅲ
沉默权利博弈
新股低价发行博弈
有信号干扰的极限定价
反信号传递
分馅饼博弈
不完全信息下单阶段讨价还价

不完全信息下两阶段讨价还价
双边交易Ⅰ
双边交易Ⅱ
双边交易Ⅲ
双边交易Ⅳ
十—十六拍卖
连续估价拍卖
美元拍卖
正态分布的共同价值拍卖
钱夹博弈
艾奇沃斯悖论
具有生产能力约束的伯特兰博弈
霍特林价格博弈
垂直差异化Ⅰ
垂直差异化Ⅱ
垂直差异化Ⅲ
耐用品垄断
广告产生的异质伯特兰模型
不对称的古诺双寡头垄断